

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"EFECTO DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y  
EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.)  
PARA EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA"

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la  
Facultad de Agronomía de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

MIGUEL ANGEL MORALES CAYAX

En el Acto de Investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

En el Grado Académico de

LICENCIADO

Guatemala, Agosto de 1991

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
04

T(1379)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. JUAN ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. EFRAIN MEDINA
VOCAL I:	ING. AGR. MAYNOR ESTRADA
VOCAL II:	<b>BIBLIOTECA CENTRAL-USAC DEPOSITO LEGAL</b>
VOCAL III:	<b>PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO</b>
VOCAL IV:	P.A. ALFREDO ITZEP M.
VOCAL V:	P.A. FRANCISCO IBARRA
SECRETARIO	ING. AGR. MARCO ROMILIO ESTRADA

Guatemala, 2 de agosto de 1991

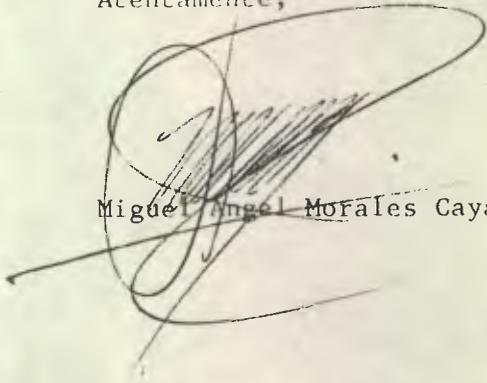
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su conocimiento el trabajo de Tesis titulado:

**"EFECTO DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y  
EVAPOTRANSPIRACION EN EL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota L.)  
PARA EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA"**

Como requisito previo a optar al título de INGENIERO AGRONOMO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, en el Grado Académico de LICENCIADO.

Atentamente,



Miguel Angel Morales Cayax

## ACTO QUE DEDICO

A DIOS: Fuente inagotable de vida.

A MIS PADRES: Miguel Angel Morales López  
Nicolasa Cayax de Morales

A MIS ABUELITAS: Cristina Castro C.  
Angelina López B.

A MI HERMANO: Mario Roberto

**ACTO QUE DEDICO**

A la:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Al:

CENTRO UNIVERSITARIO CIUDAD VIEJA

Guatemala

Al:

INSTITUTO TECNICO DE AGRICULTURA

Bárcenas, Villa Nueva

## AGRADECIMIENTOS

- AL            Ing. Agr. M. Sc. Jorge Sandoval, por su valiosa asesoría y colaboración para la realización del presente trabajo.
- AL            Ing. Agr. Domingo Amador, por su asesoría y apoyo en la buena conducción de la investigación.

## INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xvi
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	3
3.1 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE ZANAHORIA	3
3.2 EXIGENCIAS DE HUMEDAD DEL CULTIVO	4
3.3 EVAPOTRANSPIRACION	6
3.4 METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION	8
3.5 DESCRIPCION DE LOS METODOS A UTILIZAR	8
3.5.1 METODOS DE PARCELAS EXPERIMENTALES	8
3.5.2 METODO DE PERNMAN MODIFICADO POR FAO	10
3.5.3 METODO DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR FAO	11
3.5.4 ELECCION DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)	14
3.5.5 METODO BASADO EN LA EVAPOTRANSPIRACION DE TANQUE	15
4. OBJETIVOS	17
4.1 OBJETIVO GENERAL	17
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
5. HIPOTESIS	18
6. METODOLOGIA	19
6.1 UBICACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL	19
6.2 DETERMINACIONES QUIMICAS Y FISICAS DEL SUELO	20
6.3 MANEJO DEL CULTIVO	22

6.4	MANEJO DEL EXPERIMENTO	23
6.5	MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y APLICACION DE RIEGOS	25
6.6	MEDICIONES EN EL TANQUE EVAPORIMETRO	28
6.7	METODO DE ANALISIS DE RESULTADOS	28
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	31
7.1	VARIABLE RESPUESTA	31
7.1.1	RENDIMIENTO DE RAIZ (SIN FOLLAJE)	32
7.1.2	RENDIMIENTO DE PLANTAS DE ZANAHORIA COMPLETAS (RAIZ Y FOLLAJE)	34
7.1.3	DIAMETRO DE RAIZ	34
7.1.4	LARGO DE RAIZ	35
7.1.5	LARGO DE FOLLAJE	36
7.1.6	NUMERO DE PLANTAS VIVAS POR PARCELA UTIL AL FINAL DEL CICLO	36
7.2	USO DE AGUA POR EL CULTIVO	37
7.2.1	NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS	37
7.2.2	AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE DEL SUELO	38
7.3	COMPARACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION MEDIDA CON LA CALCULADA POR LAS FORMULAS DE PENMAN Y BLANEY-CRIDDLE AMBAS MODIFICADAS POR FAO	40
7.4	CALCULO DEL COEFICIENTE "C" DE LA RELACION EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION	42
8.	CONCLUSIONES	44
9.	RECOMENDACIONES	46
10.	BIBLIOGRAFIA	47
11.	APENDICE	49

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Página</b>
1 "A"    Porcentaje de Humedad Aprovechable y Porcentaje de Humedad del Suelo en Base a Peso Seco para el Tratamiento F-8	85
2 "A"    Porcentaje de Humedad Aprovechable y Porcentaje de Humedad del Suelo en Base a Peso Seco para el Tratamiento F-12	86
3 "A"    Porcentaje de Humedad Aprovechable y Porcentaje de Humedad del Suelo en Base a Peso Seco para el Tratamiento F-16	87
4 "A"    Porcentaje de Humedad Aprovechable y Porcentaje de Humedad del Suelo en Base a Peso Seco para el Tratamiento F-20	88
5 "A"    Porcentaje de Humedad Aprovechable y Porcentaje de Humedad del Suelo en Base a Peso Seco para el Tratamiento F-24	89
6 "A"    Curva de Coeficiente del Cultivo (Kc) para Penman (en el caso de Zanahoria) Guatemala	90
7 "A"    Curva de Coeficiente de Cultivo (Kc) para Blaney-Criddle (en el caso de Zanahoria) Guatemala	91

<b>FIGURA</b>		<b>Página</b>
8 "A"	Evapotranspiración Acumulada de Los Diferentes Tratamientos Penman y Blaney-Criddle Modificados por FAO y Evaporación de Tanque	92
9 "A"	Predicción de la Eto a partir del Factor f de Blaney-Criddle, para Diferentes Condiciones de Humedad Relativa Mínima, Horas de Insolación Diarias y Vientos Diurnos	93
10 "A"	Kc Medio en la Fase Inicial, en Función del Nivel Medio de la Eto (durante la fase inicial) y la Frecuencia de Riego o de unas Lluvias Apreciables	94
11 "A"	Plano General del Experimento	95

## INDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1	Propiedades Físicas del Suelo, para el Estrato 0-50 Cms.	20
2	Resultado del Análisis Químico del Suelo para el Estrato 0-50 Cms.	21
3	Resultados Promedio de las Variables Medidas en el Experimento de Zanahoria	33
4	Número de Riegos y Láminas Consumidas	37
5	Coficiente "C" de la Relación Et/Ev del Tanque de Evaporación para Zanahoria +	43
6 "A"	Rendimiento de Raíz (sin follaje) en Toneladas Métricas por Hectárea, para Cada Tratamiento y Repetición	50
7 "A"	Análisis de Varianza para el Rendimiento de Raíz en Toneladas Métricas por Hectárea	51
8 "A"	Prueba de Tukey para Rendimiento de Raíz en Toneladas Métricas por Hectárea	51
9 "A"	Rendimiento de Plantas Completas de Zanahoria en Toneladas Métricas por Hectárea para Cada Tratamiento y Repetición	52
10 "A"	Análisis de Varianza para el Rendimiento de Plantas Completas de Zanahoria en Toneladas Métricas por Ha.	53
11 "A"	Prueba de Tukey para el Rendimiento de Plantas Completas de Zanahoria en Toneladas Métricas por Ha.	53

CUADRO	Página
12 "A" Diámetro de Raíz en Cms. para Cada Tratamiento y Repetición	54
13 "A" Análisis de Varianza para el Diámetro de Raíz en Cms.	55
14 "A" Prueba de Tukey para el Diámetro de Raíz en Cms.	55
15 "A" Largo de Raíz en Cms. para Cada Tratamiento y Repetición	56
16 "A" Análisis de Varianza para el Largo de Raíz en Cms.	57
17 "A" Prueba de Tukey para el Largo de Raíz en Cms.	57
18 "A" Largo de Follaje en Cms. para Cada Tratamiento y Repetición	58
19 "A" Análisis de Varianza para el Largo de Follaje en Cms.	59
20 "A" Prueba de Tukey para Largo de Follaje en Cms.	59
21 "A" Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para Todos los Tratamientos Durante los Riegos Generales	60
22 "A" Control de la Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-8	61
23 "A" Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina para el Tratamiento F-12	62
24 "A" Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-16	63
25 "A" Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-20	64

CUADRO	Página
26 "A" Control de Humedad Antes y Después de Riego y Cálculo de la Lámina Consumida para el Tratamiento F-24	65
27 "A" No. de Riegos y Láminas de Agua Aplicados para los Cinco Tratamientos, incluyendo el Período de Establecimiento (Cms.)	66
28 "A" Cálculo de la Evapotranspiración Semanal y Total por la Formula de Penman modificado por FAO	67
29 "A" Cálculo de la Evapotranspiración Semanal y Total por la Formula de Blaney-Criddle modificado por FAO	69
30 "A" Valores de Tasa de Evapotranspiración Semanal y Total en Milímetros para los Diferentes Tratamientos, Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO y Evaporación de Tanque	70
31 "A" Coeficientes de Determinación "r " de la Evapotranspiración Semanal de los Tratamientos versus Formulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO	71
32 "A" Relación entre Evapotranspiración Semanal de los Tratamientos y Evaporación Semanal del Tanque Evaporímetro (Et/Ev)	72
33 "A" Presión Saturante del Vapor $e_a$ , en mbar en Función de de la Temperatura Media del Aire $t$ en C	73

## CUADRO

## Página

34 "A"	Presión del Vapor $e_d$ Calculada a Partir de la Temperatura en el Punto de Rocío	74
35 "A"	Factores para Corregir la Velocidad del Viento en Alturas Superiores o Inferiores a 2 Metros	75
36 "A"	Valores de la Función del Viento $f(u) = 0.27 \left(1 + \frac{u}{100}\right)$ para una Velocidad del Viento a una altura de 2 m. en km/día	76
37 "A"	Valores del Factor de Ponderación $(1-W)$ para los Efectos del Viento y de la Humedad sobre la Eto a Diferentes Temperaturas y Altitudes	77
38 "A"	Valores del Factor de Ponderación $W$ para los Efectos de la Radiación sobre la Eto a Diferentes Temperaturas y Altitudes	77
39 "A"	La Radiación Extraterrestre $R_a$ expresada en Equivalente de Evaporación en mm/día	78
40 "A"	Duración Máxima Diaria Media de las Horas de Fuerte Insolación $n$ en diferentes Meses y Latitudes	79
41 "A"	Factor de Conversión de la Radiación Extraterrestre en Radiación Solar Neta, $R_{ns}$ , para una Reflexión dada de 25% y Diferentes Relaciones entre las Horas Reales de Insolación y las Máximas Posibles $(1 - ) (0.25+0.50)$	80

CUADRO	Página
42 "A" Corrección para la Temperatura $f(t)$ con Respecto a la Radiación de Ondas Largas $R_{nl}$	80
43 "A" Corrección para la Presión del Vapor $f(e_d)$ $R_{nl}$ con Respecto a la Radiación de Ondas Largas	80
44 "A" Corrección para la Relación entre las Horas Reales de Fuerte Insolación y las Máximas Posibles $f(n/N)$ con Respecto a la Radiación de Ondas Largas $R_{nl}$	80
45 "A" Factor de Corrección $c$ en la Ecuación de Penman	81
46 "A" Porcentaje Diario Medio ( $p$ ) de Horas Diurnas Anuales a Diferentes Latitudes	82
47 "A" Valores del Factor $f$ de Blaney-Criddle para Diferentes Temperaturas y Porcentaje Diario de Horas Diurnas Anuales	83
48 "A" Coeficientes de Cultivo $K_c$ correspondientes a Cultivos Extensivos y de Hortalizas en Diferentes Fases de su Crecimiento y Según las Condiciones Climáticas Predominantes	84

**EFFECTO DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION EN ZANAHORIA (Daucus carota L.) PARA EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA.**

**EFFECT OF FIVE IRRIGATION FREQUENCIES IN THE YIELD AND EVAPOTRANSPIRATION OF CARROT (Daucus carota L.) IN THE CENTRAL VALLEY OF GUATEMALA.**

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en los campos experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del 11 de febrero al 11 de mayo de 1989, el cual consistió en la Evaluación del Efecto de Cinco Frecuencias de Riego en el Rendimiento y Evapotranspiración de la Zanahoria (Daucus carota L.). Empléandose intervalos de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días, arreglados bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y un total de 20 unidades experimentales, en la cual se determinó el consumo de agua en forma directa y se comparó con los estimados con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO. Adicionalmente se obtuvieron coeficientes "C" de la relación evapotranspiración medida en el campo con la evaporación del agua en el evaporímetro Rossbach, modelo Fv-122-R, para poder calcular la evapotranspiración a través de ellos.

Para determinar la humedad, se empleó el método gravimétrico, tomando muestras en el estrato 0-25 y 25-50 centímetros con un barrenador tipo helicoidal, después del riego y antes de aplicar el siguiente.

Con el porcentaje de humedad a capacidad de campo, profundidad radicular y densidad aparente se determinó la cantidad de agua a aplicar en cada riego y el agua consumida por el cultivo entre un riego y el siguiente.

El efecto de las diferentes frecuencias de riego se midió a través de las variables respuesta: Rendimiento de raíz (sin follaje) en toneladas métricas por hectárea, de igual manera el rendimiento de plantas completas; diámetro y longitud de raíz, longitud de follaje y número de plantas vivas por parcela útil al final del experimento.

Evaluando los diferentes tratamientos se determinó que en los regados cada 8 y 12 días se obtuvieron los mayores rendimientos, tanto de raíces como de plantas completas, así como mayor diámetro y longitud de raíces; mientras que en los demás tratamientos medidos, cuando el intervalo de riego fue más largo el rendimiento disminuyó significativamente.

Al medir la evapotranspiración, se estableció que la cantidad de agua consumida, tiende a disminuir conforme se alarga el intervalo de riego, alcanzando valores de 335.7 m.m. para la frecuencia de 8 días hasta 180 m.m. para la frecuencia de 24 días, para ninguno de los tratamientos la humedad aprovechable alcanzó valores correspondientes al punto de marchitez permanente.

Comparando estadísticamente los valores de evapotranspiración medida y calculada, se determinó que el valor de la evapotranspiración medida estadísticamente son diferentes con los valores de evapotranspiración calculada con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO. Por lo tanto, dichas formulas no se adaptan para calcular evapotranspiración de zanahoria en la región.

Los coeficientes "C" obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación del tanque, pueden ser utilizados como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando a través de esta misma línea de investigación, ya que constituye un método funcional.



## 1. INTRODUCCION

En la región central y al altiplano de Guatemala, el Gobierno ha implementado el Programa de Mini-riego, que en 1988 cubría un área de aproximadamente 200,000 hectáreas, beneficiando a 600 familias, según archivo de la Unidad de Coordinación de Proyectos y Convenios (UCPC) de DIGESA. La zanahoria es un cultivo que se adapta bien a los fines del programa por su alta rentabilidad.

Para la planificación, diseño y operación de sistemas de riego es indispensable el conocimiento de la cantidad de agua a aplicar y la frecuencia adecuada de riego. El agua es esencial para las plantas, pero tanto su déficit, como su exceso son perjudiciales para la producción, es por ello que se hace necesaria la investigación en riego y así poder utilizar más eficientemente el recurso agua, que cada día es más escaso y costoso.

Este trabajo constituye la primera investigación sobre frecuencias de riego y evapotranspiración en zanahoria, cultivo de importancia económica y alto valor nutritivo. Formando parte del proyecto de investigación en frecuencias de riego y evapotranspiración del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA), de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que pretende cubrir las zonas y cultivos principales bajo riego en el país, hasta obtener resultados consistentes y confiables.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala la utilización de riego en diversos cultivos se ha incrementado, favoreciendo la producción, sin embargo para obtener un alto rendimiento los cultivos necesitan un suministro de agua controlado durante todo el período vegetativo, por esto es necesario conocer la cantidad de agua a aplicar y la frecuencia adecuada.

Cada zona del país presenta condiciones propias de suelo, clima y cultivo; situación que hace variar los volúmenes de pérdida de agua por evapotranspiración. Actualmente se conocen métodos directos que son poco prácticos y métodos indirectos que calculan evapotranspiración a través de formulas empíricas, las cuales han sido desarrolladas tomando en cuenta diferentes variables climáticas.

Este trabajo pretende conocer la adaptabilidad del Altiplano Central de Guatemala, de las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO, constituyéndose la primera investigación que compara estas formulas en la región con el cultivo de zanahoria, que es apreciado dentro de los proyectos de riego que se desarrollan.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE ZANAHORIA

La zanahoria es la más importante del grupo de hortalizas de raíz, que incluye la remolacha, el nabo y el rábano. Es una planta bianual, pertenece a la familia Umbelliferaceae, el Asia es su centro de origen. Son plantas con tallos grandes, acanala-dos y ramificados, hojas muy divididas, flores blancas o rosadas en forma de umbela y se les cultivâ para aprovechamiento de su raíz que es comestible, siendo fuente importante de vitamina A, Tiamina, Niacina y Potasio. Caceres (2)

Este cultivo es de gran importancia en Guatemala, pues existen buenas condiciones de clima y suelo, y presenta excelentes posi-bilidades de mercado nacional e internacional. Chinchilla (3)

La zanahoria se adapta bien a climas cálidos, templados y fríos, a alturas comprendidas entre los 610 a 2743 msnm, con temperatu-ras entre los 15 y 21 grados centígrados. Respecto al suelo, pa-ra un buen desarrollo radicular prefiere: suelos profundos y sueltos que puedan ararse hasta unos 30 cms., con buen contenido de materia orgánica y un pH de 5.5 a 7.

En cuanto a fertilización, para obtener una cosecha de 15,000 docenas, equivalente a 9,979 kg/Ha., Gudiel (9) recomienda las siguientes cantidades de nutrientes puros: 80 kg. de nitrógeno, 36 kg. de fósforo, 136 kg. de potasio y de acuerdo con un análisis de suelo, se pueden utilizar formulas compuestas, nitrógenadas y foliares. El boletín informativo de DISAGRO (4), menciona que los requerimientos del cultivo son: N 225,  $P_2O_5$  55,  $K_2O$  200, MgO 40 y S 25 kg/Ha., para obtener un rendimiento de 30 TM/Ha.

### 3.2 EXIGENCIAS DE HUMEDAD DEL CULTIVO

El cultivo demuestra susceptibilidad al déficit de agua durante el período de formación de raíces y la falta de humedad, puede causar agrietaduras en las mismas. Doorembos, J. y Kassam, A. (6)

Para obtener un alto rendimiento, el cultivo necesita un suministro de agua controlado durante todo el período vegetativo, consume el agua a una tasa de evapotranspiración de 4 a 5 mm/día, reduciéndose esta tasa, cuando se ha agotado el 25% del agua disponible en el suelo. Doorembos, J. y Kassam, A. (6)

En general los factores que influyen sobre el momento más oportuno de regar son: edáficos, climáticos, época de siembra, disponibilidad de agua, capacidad de la zona radicular para almacenar la misma. Israelsen (11)

La textura del suelo influye directamente en la frecuencia y lámina de agua por cada aplicación. Los suelos arenosos requieren mayor frecuencia de riego, en cambio los suelos limosos almacenan mucha agua y por tanto requieren menor frecuencia, pero mayor cantidad de aplicación. Israelsen (11)

Aunque el agua se aplique correctamente, un riego demasiado frecuente reduce la eficiencia de la aplicación del mismo, al aumentarse algunas pérdidas por conducción y distribución, por el contrario, el riego tardío, especialmente cuando la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, puede tenerse efectos negativos sobre el rendimiento del cultivo. Israelsen (11)

El riego excesivo en cualquier hortaliza puede ocasionar difusión de enfermedades de tipo fungoso. Chinchilla (3)

### 3.3 EVAPOTRANSPIRACION

Se suele estimar que el clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos. Prescindiendo de los factores climáticos, la evapotranspiración correspondiente a un cultivo dado, queda también determinada por el propio cultivo, al igual que sus características de crecimiento. El medio local, las condiciones de los suelos y su humedad, los fertilizantes, las infestaciones, enfermedades e insectos, las prácticas agrícolas y de regadío y otros factores, pueden influir también en las tasas de crecimiento y en la evapotranspiración consiguiente. Doorembos, J. y Pruitt, W. (5)

Se utilizan diversos métodos para predecir la evapotranspiración a partir de variables climáticas, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales. El método seguido consiste en relacionar la magnitud y la variación de la evapotranspiración con uno o más factores climáticos (horas luz, temperatura, humedad, viento, insolación). Para ello, se utilizan datos medidos de evapotranspiración de una cubierta de gramíneas, suponiendo que la evapotranspiración de estas es provocada en gran medida por las condiciones climáticas. Se introdujo un valor de referencia ( $E_{to}$ ) que se define como "la tasa de

evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua". La  $E_t$  se expresa en mm diarios y representa el valor medio de ese período. Doorembos, J. y Pruitt, W. (5)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo  $-E_t$  cultivo- en cualquiera de sus fases de desarrollo y condiciones climáticas predominantes viene dada por los coeficientes de cultivo,  $K_c$ .  $K_c$  es la relación entre  $E_t$  y la  $E_t$  (cultivo), utilizando datos correspondientes a distintos puntos y climas. Doorembos, J. y Pruitt, W. (5)

La  $E_t$  (cultivo) determinada de este modo se refiere a la evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso (una o más hectáreas), en condiciones óptimas de suelos, incluida una fertilidad y un agua suficientes en el que se llega al potencial de plena producción de ese cultivo con arreglo al medio vegetativo dado. Las condiciones locales y prácticas agrícolas e inclusive los tipos de plantas y la selección de variedades, puede repercutir de un modo considerable en la  $E_t$  (cultivo) y exigir, por consiguiente, ciertas correcciones. Doorembos, J. y Pruitt, W. (5)

### **3.4 METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION**

Peña (13), menciona los siguientes métodos directos para calcular evapotranspiración: Tanques y lisímetros, evapotranspirómetro de Thornthwaite, método de integración, método de parcelas experimentales, método de entradas y salidas para grandes extensiones, estudios de la humedad del suelo.

Los métodos indirectos son todos aquellos que calculan la evapotranspiración a través de formulas empíricas, las cuales han sido desarrolladas tomando en cuenta diferentes variables climáticas. Entre los métodos indirectos más utilizados están: método de Lowry-Johnson, método de Hargreaves modificado en 1966 y 1983, método de tanque, método de Penman y Blaney-Criddle modificado por FAO.

### **3.5 DESCRIPCION DE LOS METODOS A UTILIZAR**

#### **3.5.1 METODO DE PARCELAS EXPERIMENTALES**

Israelsen y Hansen (11), menciona que este método proporciona datos más reales que los lisímetros y que para la obtención de la humedad del suelo se recurre al método gravimétrico, que aunque laborioso y costoso es de gran valor.

La práctica consiste en barrenar hasta las profundidades deseadas, extraer las muestras de suelo húmedo, colocarlas en cajas de aluminio con tapa hermética y llevarlas al laboratorio para su posterior desecación y pesado. Este método está limitado por el tiempo que transcurre entre las tomas de muestras y su desecación en el horno, que por lo regular es de 24 horas. El porcentaje de humedad de la muestra lo calculamos con la siguiente expresión:

$$ps = \frac{psh - pss}{pss} \cdot 100$$

donde:

ps = Porcentaje de humedad de la muestra

psh = Peso de suelo húmedo

pss = Peso de suelo seco

Según Grassi (8), existen 2 variantes para determinar los tratamientos a aplicar a un completo de cultivo-suelo y son:

- a) Frecuencia fijada por el umbral de riego electo para cada tratamiento, en donde la lámina de reposición es constante.
- b) El intervalo de riego en número preestablecido de días constante para cada tratamiento, en donde la lámina de reposición es variable.

En el caso de la lámina de reposición constante, se requiere de determinaciones frecuentes a fin de regar al nivel de humedad preestablecido. En cambio la lámina variable sólo es necesario conocer la humedad antes de riego, a fin de calcular la lámina a reponer.

### 3.5.2 METODO DE PENMAN MODIFICADO POR FAO

Doorembos J. y Pruitt W. (5), sugieren un método de Penman ligeramente modificado a la ecuación original (1948), para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. Las formulas expuestas y el procedimiento aplicable permiten predecir los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $E_{to}$ . Se obtiene la evapotranspiración del cultivo,  $E_t$  (cultivo), mediante la siguiente formula:

$$E_t (\text{cultivo}) = K_c \cdot E_{to}$$

Se presenta un método en dos partes, que consiste en calcular primero la  $E_{to}$  y en escoger tras ello el coeficiente adecuado de cultivo  $K_c$  para predecir la  $E_t$  (cultivo).

La formula de la ecuación utilizada en este método, es la siguiente:

$$E_{to} = [W \cdot R_n + (1-W) \cdot F(u) \cdot (e_a - e_d)]$$

Donde:

$E_{to}$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día

$W$  = Factor de ponderación relacionado con la temperatura

$R_n$  = Radiación neta en equivalente de evaporación en mm/día

$F(u)$  = Función relacionada con el viento ( $e_a - e_d$ ) es la diferencia entre la presión saturante del vapor a la temperatura media del aire y la presión real del vapor medio del aire, ambas en milibares.

En el apéndice se presenta un ejemplo con notas de cálculo que corresponde a la primera semana de medición en el presente estudio.

### 3.5.3 METODO DE BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR FAO

Con el objeto de definir mejor los efectos del clima sobre las necesidades de agua del cultivo, sin dejar por ello

de aplicar el factor original de uso consuntivo  $f$  (temperatura y horas diurnas), en esta modificación se ha calculado este factor en relación con un gran número de ubicaciones y climas distintos. Además de la temperatura en esos puntos, se disponía de datos sobre la humedad, la insolación y el viento, así como sobre la evapotranspiración de las gramíneas in situ. Se establecieron unas relaciones entre el factor  $f$  de Blaney-Criddle y la evapotranspiración del cultivo de referencia (gramínea),  $E_{to}$ , teniendo en cuenta los niveles generales de humedad, insolación y viento. Se indican los resultados en la Figura 9 del apéndice.

Tras haber calculado el factor  $f$  en un punto dado, utilizando datos sobre la duración de las horas de luz y la temperatura, se puede determinar gráficamente el valor de la  $E_{to}$  a partir de la Figura 9 del apéndice. Como hay que tomar en consideración los niveles generales de humedad, viento e insolación, ha de ser posible llegar a una predicción mejorada de los efectos del clima sobre la evapotranspiración.

El factor  $f$  de Blaney-Criddle en mm se expresa como sigue:

$$f = p (0.46 t + 8.13) \text{ Utilizando } C$$

Donde:

$t$  = es el promedio de las temperaturas máxima y mínima diarias en C en el mes examinado.

$p$  = porcentaje diario medio de horas diurnas anuales, calculadas a partir del Cuadro 46 del Apéndice.

Después de determinar la  $E_{to}$  a partir de la Figura 9 del Apéndice, se puede predecir la  $E_t$  (cultivo), utilizando el coeficiente adecuado  $K_c$ , Figuras 6 y 7 del Apéndice, o sea:

$$E_t (\text{cultivo}) = K_c \cdot E_{to}$$

Un ejemplo en el Apéndice indica los cálculos simples para obtener el valor diario medio de  $f$  en mm para ese mes (o semana). El mismo corresponde a la primera semana del cultivo descrito en este trabajo.

### 3.5.1 ELECCION DE COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

El período vegetativo se divide en cuatro fases. En el Cuadro 48 del apéndice se presentan los coeficientes  $K_c$ , correspondientes a distintas condiciones climáticas.

Las cuatro fases de desarrollo del cultivo son las siguientes:

1. Fase inicial: germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo.
2. Fase de desarrollo del cultivo: desde final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva.
3. Fase de mediados del período: desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva hasta el momento de iniciarse la maduración.
4. Fase de finales del período: desde el final de la fase anterior hasta la recolección.



En las Figuras 6 y 7 del Apéndice, se indican las operaciones necesarias para obtener los valores de  $K_c$  correspondientes a las distintas fases que para simplificar, se presentan como líneas rectas.

Para la fase inicial, se predice la frecuencia de riego y/o las lluvias; para unos valores de la  $E_{to}$  previamente determinado, se obtiene  $K_c$  a partir de la Figura 10 del Apéndice y se indica gráficamente el valor correspondiente, como puede verse en las Figuras 6 y 7 del Apéndice.

#### 3.5.5 METODO BASADO EN LA EVAPOTRANSPIRACION DE TANQUE

Aguilera y Martínez (1), manifiestan que frecuentemente se encuentra una estrecha proporcionalidad entre la evaporación medida, por ejemplo en un evaporímetro estandar y la evapotranspiración de un cultivo bien provisto de agua. Esto se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son originados por los mismos efectos.

Según Grassi (8), los estudios de correlación hechos en diferentes cultivos y períodos del ciclo vegetativo permiten obtener coeficientes para estimar la evapotranspira-

ción en función de la evaporación de una superficie libre de agua. Estos coeficientes sirven para ajustar la fórmula que usa en la estimación potencial de la evapotranspiración.

Dicha fórmula es:

$$E_{tp} = E_v \cdot C$$

Donde:

$E_{tp}$  = evapotranspiración potencial

$E_v$  = evaporación de tanque

$C$  = Coeficiente de ajuste adimensional

Pruitt (5), indica que la variación del coeficiente "C", depende de factores como el tamaño, color y estado de conservación del mismo, así como la turbiedad y profundidad del agua; encontró que la variación del coeficiente "C", en la relación  $E_t/E_v$  oscila entre 0.75 y 1.25.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de cinco frecuencias de riego sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de zanahoria, para la época y condiciones del área.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 4.2.1 Determinar la frecuencia de riego más adecuada para el cultivo y condiciones del área.
- 4.2.2 Determinar la lámina de agua consumida en cada riego y la total en el ciclo del cultivo.
- 4.2.3 Establecer el grado de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo.
- 4.2.4 Verificar la adaptabilidad de las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO, para el área en la estimación de la evapotranspiración.
- 4.2.5 Establecer la relación evapotranspiración/evaporación del tanque para diferentes etapas de desarrollo del cultivo en los tratamientos con mayores rendimientos.

## 5. HIPOTESIS

- 5.1 Los rendimientos obtenidos en el cultivo de zanahoria, serán diferentes con la aplicación de las frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días.
- 5.2 La frecuencia de riego de 24 días, producirá mortalidad de plantas.
- 5.3 El valor de la evapotranspiración o consumo de agua por el cultivo, será diferente en los tratamientos regados con distinto intervalo de riego.
- 5.4 La evapotranspiración medida en el campo durante todo el ciclo del cultivo, para cada una de las frecuencias de riego, será diferente del valor de la evapotranspiración estimada con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO.



## 6. METODOLOGIA

### 6.1 UBICACION Y DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL

El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado geográficamente en las coordenadas, latitud Norte 14 35'58", longitud Oeste 90 31'58" y su elevación sobre el nivel del mar es de 1502 metros.

El clima promedio que prevalece en el valle central de Guatemala es: precipitación media anual de 1150.0 mm., distribuidos en 150 días de mayo a octubre, la temperatura promedio anual de 19.0 grados centígrados, humedad relativa de 81% y vientos de 17.8 km/hora.

Los suelos del área experimental son de la serie Guatemala, con textura arcillosa, drenaje lento y con capacidad de abastecimiento de humedad muy alta. Su topografía es regular, con pendientes que varían de 0 a 2%, por lo que la susceptibilidad a la erosión es mínima, posee un pH de 6.1. Peña (13)

## 6.2 DETERMINACIONES QUIMICAS Y FISICAS DEL SUELO

Las propiedades físicas donde se realizó el experimento se presentan en el Cuadro 1. En cuyas determinaciones se utilizaron los siguientes métodos: textura, hidrómetro de Bouyoucos; capacidad de campo, olla de presión a 1/3 de atmósfera; punto de marchitez permanente, membrana de presión a 15 atmósferas; densidad aparente, probeta; esto a nivel de laboratorio. En el campo se determinó la capacidad de campo, por el método de parcela de campo; así también densidad aparente por los métodos de cilindro de volumen conocido y agujero.

La muestra en los análisis anteriores representa el estrato 0-50 cms., debido a que el suelo es homogéneo y la zona radicular del cultivo de zanahoria es de 50 cms.

**Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo, para el estrato 0-50 centímetros.**

	TEXTURA	PMP %	CC %	Da
LABORATORIO	Arcillosa	18.98	31.25	1.035
CAMPO	---	---	32.01	1.000



Para la realización de 41 análisis químico del suelo, se tomaron muestras de suelo, luego se mezclaron hasta homogenizar y se tomó 1 Kg. de suelo, el cual se envió al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), para contar posteriormente con recomendaciones de fertilización. Se detalla en el Cuadro 2, las características químicas.

**Cuadro 2. Resultado del análisis químico del suelo para el estrato 0-50 cms.**

pH	Microgramos/ml		meq./100 ml de suelo	
	P	K	Ca	Mg
6.1	23.27	147	10.18	1.98

Según el boletín informativo de DISAGRO (4), los requerimientos del cultivo para producir 30 TM/Ha., son: N 120,  $P_2O_5$  55,  $K_2O$  200, MgO 30, S 10 Kg/Ha. y Gudiel (9), menciona que un pH de 6-7 es adecuado.

Como se observa en el Cuadro 2, el suelo posee un pH ligeramente ácido, que es adecuado para el cultivo. En relación a las cantidades de fósforo, potasio y magnesio se encuentran óptimos. Sin embargo, se aplicaron abonos para favorecer la disponibilidad a las raíces de las plantas.

### 6.3 MANEJO DEL CULTIVO

Se inició con la preparación del terreno; efectuando 1 paso de arado y 2 de rastra, nivelación, surqueado; realizando una desinfección del suelo con PCN-B. Luego se sembró el día 11 de febrero de 1989, utilizando la variedad "Chantenay Red Cored 780-01", por ser de mayor aceptación, realizándose directamente en el campo, empleándose 0.5 onzas por unidad experimental (18 mts.<sup>2</sup>), se sembró en hileras dobles; se trazaron camellones de 20 cms. de altura, distanciados por 60 cms. y sobre el camellón las dobles hileras separadas por 30 cms.; la semilla fue distribuída al chorrillo a mano, a una profundidad promedio de 1 cm., luego se puso una cobertura de zacate sobre las hileras para proteger del riego por aspersion que fue aplicado para que la semilla germinará y el cultivo soportará los tratamientos; el mismo se aplicó durante 21 días, con un frecuencia de 5 días. Las plantas germinaron a los 15 días, momento en el que se quitó la cobertura. A los 12 días después de la germinación, se hizo un raleo dejando una distancia de 10 cms. entre las plantas, que da una densidad de 330,000 plantas/Ha.

La primera fertilización se realizó al momento de la siembra, aplicando 3.5 qq./Ha. de 46-0-0, la segunda fue 45 días después de la siembra, aplicando 2.5 qq./Ha. de 16-20-0.

Las limpias fueron manuales, la primera 20 días después de la siembra y luego otras dos con intervalos de 15 días; al mismo tiempo se realizaba un aporque para recubrir las raíces. No hubo necesidad de control de plagas y enfermedades. La cosecha se realizó 90 días después de la siembra, cuando las zanahorias alcanzaron su mejor color y desarrollo.

Cuantificando las zanahorias de la parcela útil en toneladas métricas por hectárea para el rendimiento de raíz y plantas completas; de la misma parcela se tomaron 30 zanahorias y se les midió el diámetro y largo de raíz y largo de follaje.

#### 6.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El terreno tiene una pendiente menor de 2%, por lo que se consideró conveniente utilizar un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos, los cuales consisten en regar con frecuencias de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días, que son identificados en este trabajo como F-8, F-12, F-16, F-20, F-24 respectivamente y cuatro repeticiones que son a su vez representadas con los números I, II, III y IV.

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}.$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento en el  $j$ -ésimo bloque.

$M$  = Efecto de la media general.

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

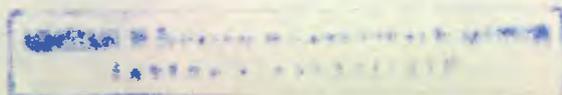
$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$E_{ij}$  = Error experimental

Puede observarse en la Figura 11 del apéndice, que la separación entre bloques es de 2.00 mts. y dentro del bloque las unidades experimentales (parcelas) son separadas por 1.5 mts.; el tamaño de la parcela utilizada fue de 3x6 mts. Así también la disposición de la toma principal que fue trazada para abastecer a cuatro tomas secundarias (1 por cada bloque), de las que por medio de sifones se obtuvo agua para regar por el método de riego de surcos cada parcela.

El trabajo de campo duró aproximadamente tres meses y medio, de febrero a la segunda semana de mayo de 1989.

El área experimental tuvo las siguientes características:



- Area total del experimento	=	986 mts <sup>2</sup> .
- Area útil del experimento	=	360 mts <sup>2</sup> .
- Area de la parcela experimental	=	18 mts <sup>2</sup> .
- Area útil de la parcela experimental	=	8.64 mts <sup>2</sup> .
- Número de parcelas	=	20
- Distancia entre parcelas	=	1.5 mts.
- Distancia entre bloques	=	2.0 mts.
- Número de surcos por parcela	=	5
- Número de plantas por parcela	=	600
- Número de plantas por parcela útil	=	288

### 6.5 MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y APLICACION DE RIEGOS

Después de la siembra el cultivo fue regado cada 5 días por aspersión, durante los primeros 21 días, siendo ésta la etapa de establecimiento, aplicándose un total de 4 riegos.

La medición de la humedad se realizó por el método gravimétrico. Para el muestreo se utilizó el barreno helicoidal, tomándose 3 muestras al azar por unidad experimental. Los muestreos se realizaron antes y después de cada riego; antes del riego con 24 horas de anticipación para poder conocer así la lámina de agua a

reponer y después del riego se muestreó a las 48 horas, ya que es cuando el suelo alcanza el porcentaje de humedad a capacidad de campo.

Para determinar la cantidad de agua a aplicar o lámina de auxilio, se uso la siguiente ecuación:

$$LR = \frac{(cc - \%HAR)}{100} \cdot Da \cdot Pr \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

LR = Lámina de riego (cms.)

CC = Porcentaje de humedad a capacidad de campo

%HAR = Porcentaje de humedad 1 día antes del riego

Da = Densidad aparente ( $\text{Gr/cm}^3$ )

Pr = Profundidad radicular (cms.)

Teniendo los valores de porcentaje de humedad después del riego y antes del siguiente, se pudo calcular la lámina de agua consumida o evapotranspiración real para un período determinado, mediante la ecuación:

$$ETR = \frac{(\%HDR - \%HAR)}{100} \cdot Da \cdot Pr \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real (cms.)

%HDR = Porcentaje de humedad después del riego

%HAR = Porcentaje de humedad antes del riego

Da = Densidad aparente (gr/cm.)

Pr = Profundidad del estrato (50 cms.)

Se calculó luego para cada semana en forma proporcional.

Entre los muestreos antes y después de un mismo riego, existía un período de tres días, en los cuales no se conocía el consumo, fue necesario efectuar un ajuste proporcional relacionado mediante una regla de tres simple, el período de consumo conocido con los tres días comprendidos entre muestreos.

Se calculó el tiempo de riego (T), para cada parcela, con la fórmula siguiente:

$$T = \frac{A \cdot Lr}{Q} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

T = Tiempo de riego en minutos

A = Área de la parcela 3x6 mts. (18 mts<sup>2</sup>.)

Lr = Lámina de riego en centímetros (Ecuación 1)

Q = Caudal del sifón en m<sup>3</sup>/minuto

## 6.6 MEDICIONES EN EL TANQUE EVAPORIMETRO

Las mediciones de la evaporación del agua se realizaron cada 3 días, en el tanque evaporímetro Rossbach Modelo Fv-122-R.

El coeficiente "C" ( $E_t/E_v$ ), fue determinado para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo; Inicial 21 días, desarrollo del cultivo 29 días, mediados del período 27 días y final del ciclo 13 días. Así como también semanalmente.

## 6.7 METODO DE ANALISIS DE RESULTADOS

Las variables evaluadas son:

- a. Rendimiento en toneladas métricas por hectárea de raíces de zanahoria.
- b. Rendimiento en toneladas métricas por hectárea de plantas completas.
- c. Diámetro de raíz centímetros.
- d. Largo de raíz en centímetros.
- e. Largo de follaje en centímetros.
- f. Número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo.

A los resultados obtenidos de las variables respuesta medidas, se les aplicó un análisis de varianza con niveles de significancia de 1 y 5%. Así mismo, en vista que se encontraron diferencias entre tratamientos, se hicieron pruebas de Tukey con un nivel de significancia de 5%.

Para verificar si los valores de tasa de evapotranspiración semanal calculados con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, equivalían a los valores de evapotranspiración medidos en el campo, se efectuó un análisis de correlación para determinar que porcentaje de la variable independiente (valores de evapotranspiración calculados por formula) es explicado por el modelo de regresión lineal simple  $y = b_0 + b_1X$ , considerándose para este análisis un nivel de significancia de 0.1%, para mayor confiabilidad de los resultados.

Se consideró que cuando los coeficientes de determinación " $r^2$ " calculados fueran menores a los tabulados para un nivel de significancia de 0.1% y  $n-2$  grados de libertad, el modelo de regresión lineal simple no explica satisfactoriamente que las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, se adapten a la región.

No se efectuaron las dos pruebas de hipótesis para determinar que la pendiente de la recta es igual a uno y que el intercepto es igual a cero ( $H_0: B_1 = 1$  y  $H_0: B_0 = 0$ ).

Además de este análisis estadístico, también se efectuó una comparación gráfica ploteando los valores de tasa de evapotranspiración semanal y evapotranspiración acumulada, ambos con respecto al tiempo de cada uno de los tratamientos y los valores calculados con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO, para observar la tendencia que siguió cada una de las curvas y determinar visualmente si los valores medidos son equivalentes a los valores acumulados.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados obtenidos, se divide en cuatro partes: La primera se refiere a los resultados y análisis de las variables respuesta que se utilizaron para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos. La segunda comprende el análisis del uso de agua por las plantas. En la tercera se utiliza una comparación de los resultados de evapotranspiración medida en los tratamientos, con los calculados por las formulas de Penman modificado por FAO y Blaney-Criddle modificado por FAO. Y en la última se efectúa un cálculo de los valores del coeficiente "C" obtenidos de la relación evapotranspiración medida en el campo con la evaporación de agua en el tanque Rossbach Modelo Fv-122-R.

### 7.1 VARIABLE RESPUESTA

Las variables respuesta evaluadas fueron: Rendimiento de raíz (sin follaje), rendimiento de plantas completas de zanahoria (raíz y follaje), diámetro de raíz, largo de raíz, largo de follaje y número de plantas vivas por parcela útil al final del ciclo.

En el Cuadro 3 se detallan los resultados promedio obtenidos en los diferentes tratamientos, para cada una de las variables respuesta. Puede observarse en este cuadro que invariablemente para todos los tratamientos el rendimiento, diámetro y largo de raíz; y largo de follaje, disminuyen a medida que se alarga el intervalo de riego.

#### 7.1.1 RENDIMIENTO DE RAIZ (SIN FOLLAJE)

Los resultados de rendimiento en peso de raíces para cada tratamiento y repetición, se encuentran en el Cuadro 6 del apéndice. El análisis de varianza que se presenta en el Cuadro 7 del apéndice, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, debido a ello se efectuó una prueba de Tukey, cuyo resultado se presenta en el Cuadro 8 del apéndice, encontrándose que para los tratamientos F-8 y F-12 no existe diferencia estadísticamente significativa, poseendo los más altos rendimientos; mientras que el tratamiento F-24 presenta el menor rendimiento.

Cuadro 3. Resultados promedio de las variables medidas en el experimento de zanahoria.

FRECUENCIA DE RIEGO (DIAS)	RENDIMIENTO DE RAIZ (SIN FOLLAJE) TM/HA.	RENDIMIENTO DE PLANTAS COMPLETAS TM/HA.	DIAMETRO DE RAIZ (CM.)	LARGO DE RAIZ (CM.)	LARGO DE FOLLAJE (CM.)
8	24.35	46.13	4.35	11.85	53.97
12	21.31	38.80	4.07	11.74	50.83
16	17.42	33.17	3.55	11.25	46.13
20	15.64	29.43	2.96	10.16	42.08
24	10.29	18.21	2.53	9.41	32.44

### 7.1.2 RENDIMIENTO DE PLANTAS DE ZANAHORIA COMPLETAS (RAIZ Y FOLLAJE)

En el Cuadro 9 del apéndice, están contemplados los resultados de rendimiento de plantas completas en toneladas métricas por hectárea para cada tratamiento y repetición. Observándose que los rendimientos mayores se encuentran en los tratamientos con intervalo de riego corto.

En el Cuadro 10 del apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Se llevó a cabo una prueba de Tukey, apareciendo el resumen en el Cuadro 11 del apéndice; indicándonos que los tratamientos F-8 y F-12 no presentan diferencia estadísticamente significativa, rindiendo las producciones mayores, mientras que el tratamiento F-24 observa el menor rendimiento.

### 7.1.3 DIAMETRO DE RAIZ

En el Cuadro 12 del apéndice, están contemplados los resultados de diámetro de raíz de plantas de zanahoria en centímetros para cada tratamiento y cada repetición, observándose que los diámetros mayores se encuentran en los tratamientos con intervalos de riego corto.



En el Cuadro 13 del apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Se llevó a cabo una prueba de Tukey, la interpretación del mismo aparece en el Cuadro 14 del apéndice, indicándonos que los tratamientos F-8 y F-12, son los de mayor diámetro, mientras que el tratamiento F-24 observa el menor diámetro.

#### 7.1.4 LARGO DE RAIZ

En el Cuadro 15 del apéndice, están contemplados los resultados de largo de raíz de plantas de zanahoria en centímetros para cada tratamiento y cada repetición. Observándose que los largos mayores se encuentran en los tratamientos con intervalo de riego corto.

En el Cuadro 16 del apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos. Se llevó a cabo una prueba de Tukey, apareciendo el resumen en el Cuadro 17 del apéndice, indicándonos que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos F-8, F-12 y F-16, poseendo los mayores largos, mientras el tratamiento F-24 observa el menor largo de raíz.

#### 7.1.5 LARGO DE FOLLAJE

En el Cuadro 18 del apéndice, están contemplados los resultados de largo de follaje de plantas de zanahoria en centímetros para cada tratamiento y cada repetición. Observándose que los follajes más largos corresponden a los tratamientos con intervalo de riego corto.

En el Cuadro 19 del apéndice, análisis de varianza, se observa que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos. El resumen de la prueba de Tukey en el Cuadro 20 del apéndice, indicándonos que los tratamientos F-8 y F-12 no presentan diferencia estadísticamente significativa, presentando los follajes más largos, mientras en el tratamiento F-24 se observa el menor largo de follaje.

#### 7.1.6 NUMERO DE PLANTAS VIVAS POR PARCELA UTIL AL FINAL DEL CICLO

El número de plantas vivas por parcela neta, al final del ciclo fue de 288 para todas las unidades. Vemos que aún en los tratamientos con intervalos de riego largo, no existió mortalidad de plantas, concluyéndose que la zanahoria posee resistencia a la sequía.

## 7.2 USO DE AGUA POR EL CULTIVO

### 7.2.1 NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS

En el Cuadro 4 puede observarse el resumen del consumo total de agua, así como el número de riegos aplicados para cada tratamiento. En todos los casos puede observarse una reducción en la lámina total aplicada, conforme se alarga el intervalo de riego. Esto nos indica que las plantas al disponer de más agua tenderán a consumir más.

En los Cuadros del 21 al 26 del Apéndice, se calcularon las láminas de agua consumida para los diferentes tratamientos. Y en el Cuadro 27 del Apéndice, se presenta el número de riegos y láminas de agua aplicados en cada riego para los cinco tratamientos.

**Cuadro 4. Número de riegos y láminas consumidas.**

TRATAMIENTO	No. DE + RIEGOS	LAMINA CONSUMIDA ++ TOTAL (m.m.)
F-8	8	335.7
F-12	5	178.9
F-16	4	161.4
F-20	3	121.9
F-24	2	117.9

+ = No incluye los 3 riegos generales aplicados durante la etapa de establecimiento (los primeros 21 días después de la siembra.

++ = Si incluye la lámina consumida en la etapa de establecimiento.

### 7.2.2 AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE DEL SUELO

Durante todo el ciclo del cultivo se llevó un control de la humedad del suelo para cada tratamiento en los estratos 0-25 y 25-50 centímetros. De la Figura 1 a la 5 del Apéndice, se grafica el porcentaje de humedad del suelo en base a peso seco, contra el tiempo.

Los primeros 21 días corresponden a la etapa de establecimiento, en la cual se trató de mantener el suelo cerca de la humedad correspondiente a capacidad de campo, regando cada 5 días, por lo tanto en las Figuras del Apéndice esta etapa se grafica con una línea recta que coincide con la capacidad de campo.

La Figura 1 del Apéndice, corresponde al tratamiento regado cada 8 días, en la cual se observa que hasta los 60 días el agotamiento de la humedad aprovechable fue bastante uniforme, siendo de un 33% para el estrato 0-25 y de 25% para el estrato 25-50 en promedio y con un valor de 50% y 28% respectivamente, a los 75 días, siguiendo una tendencia de mayor consumo al final del ciclo.

La Figura 2 del Apéndice, corresponde al tratamiento regado cada 12 días, en la cual se observa que hasta los 50 días el agotamiento de la humedad aprovechable fue bastante homogénea, siendo de 43% en promedio para el estrato 0-25 y de 37% para el estrato 25-50 y con un valor de 61% y 60% respectivamente en la etapa media hasta el final.

La Figura 3 del Apéndice, explica el comportamiento del tratamiento regado cada 16 días, puede observarse que hasta los 50 días el estrato 0-25 promedia 38% de humedad aprovechable y el estrato 25-50 promedia 47%. A partir del día 70 hasta el final, la humedad aprovechada se incrementa para el estrato 0-25 a 81% y para el estrato 25-50 un promedio de 54%.

La Figura 4 del Apéndice, corresponde al tratamiento regado cada 20 días, manifiesta que la humedad hasta el día 60 para los estratos 0-25 y 25-50 fue de 62% y 50% respectivamente. Incrementándose el consumo desde este momento hasta el final en 81% y 63% respectivamente.

La Figura 5 del Apéndice, presenta el comportamiento del tratamiento regado cada 24 días, observando que el cultivo fue sometido a una alta tensión, sin embargo no llegó a punto de marchitez permanente, a pesar de la disminución marcada de su rendimiento.

Manifestó un comportamiento homogéneo a partir de la etapa de desarrollo, denotando un aprovechamiento de 88% en promedio para el estrato 0-25 y de 71% para el estrato 25-50.

### **7.3 COMPARACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION MEDIDA CON LA CALCULADA POR LAS FORMULAS DE PENMAN Y BLANEY-CRIDDLE AMBAS MODIFICADAS POR FAO**

En los Cuadros 28 y 29 del Apéndice, se presentan los cálculos de la evapotranspiración semanal por las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO. Las Figuras 6 y 7 del Apéndice muestran las curvas de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), caso del cultivo de zanahoria.

En el Cuadro 30 del Apéndice se resumen los resultados de la tasa de evapotranspiración semanal medida en los cinco tratamientos, la calculada por la formula de Penman y Blaney-Criddle y la tasa de evaporación medida en el tanque evaporímetro Rossbach, Modelo Fv-122-R. Como fue planteado en el capítulo de la Metodología, para verificar la adaptabilidad de las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificado por FAO, en la estimación de la evapotranspiración del cultivo de zanahoria, se efectuó un análisis de correlación lineal simple entre los datos calculados con las formulas (variable independiente) y los medidos en cada tratamiento (variable dependiente).

Mediante este análisis se determinó el grado de relación entre datos de formulas y medidos, que es explicado por el modelo de regresión lineal simple; encontrándose que desde el tratamiento F-8 hasta el tratamiento F-24, los coeficientes de determinación  $r^2$  calculados ( $r^2_c$ ) son menores al tabulado ( $r^2_t$ ), Cuadro 31 del Apéndice, o sea que el modelo lineal no explica satisfactoriamente la relación entre los datos medidos en el campo y los calculados por las formulas.

Con el análisis anterior, se demuestra que la tasa de evapotranspiración semanal calculada con las formulas de Penman y Blaney-Criddle y la medida en el campo son diferentes. Sin embargo, en el Cuadro 30 del Apéndice se observa que la evapotranspiración total calculada con las formulas dan un valor aproximado a la medida en el tratamiento regado cada 8 días y para los otros tratamientos el valor es siempre mayor con ambas formulas.

La Figura 8 del Apéndice nos muestra el comportamiento de la evapotranspiración acumulada para todos los tratamientos, los calculados por las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO y la evaporación de tanque evaporímetro. Se reafirma la poca semejanza de todos los tratamientos con los calculados con formulas.

## 7.2 CALCULO DEL COEFICIENTE "C" DE LA RELACION EVAPOTRANSPIRACION/EVAPORACION

La evaporación del tanque está afectada por los mismos factores que afectan la evapotranspiración, a excepción del factor planta, por consiguiente los valores de evaporación son diferentes cuantitativamente a los valores de evapotranspiración medidos en el campo, pudiendo ajustar dichos valores por medio de coeficientes provenientes de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque (coeficiente "C").

El Cuadro 32 del Apéndice muestra los coeficientes "C" semanales para cada tratamiento durante el ciclo de cultivo obtenidos de la relación mencionada, observándose que los valores aumentan a medida que transcurre el ciclo del cultivo. Usando el promedio de valores "C" para los tratamientos de mejores rendimientos F-8 y F-12 se elaboró el Cuadro 5, que detalla la relación  $E_t/E_v$  para las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Cuadro 5. Coeficiente "C" de la relación Et/Ev de tanque de evaporación para zanahoria +

ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO	COEFICIENTE $C = Et/Ev$
Inicial (1-21 días)	0.21
Desarrollo (22-49 días)	0.51
Medio (50-77 días)	0.97
Final (78-90 días)	0.68

+ Promedio de "C" calculado para F-8 y F-12.

## 8. CONCLUSIONES

- 8.1 El rendimiento de raíces y plantas completas de zanahoria, diámetro y largo de raíz y longitud de follaje, fueron afectados por las frecuencias de riego evaluadas. Disminuyendo invariablemente en todos los tratamientos a medida que se alarga el intervalo de riego.
- 8.2 Los mayores rendimientos de raíz se obtuvieron con frecuencias de 8 y 12 días, siendo de 24.35 y 21.31 TM/Ha., respectivamente. Los tratamientos regados cada 16, 20 y 24 días produjeron 17.42, 15.64, 10.29, respectivamente. El mayor tamaño de raíz, expresado en diámetro y longitud, se obtuvo en los tratamientos regados cada 8 y 12 días.
- 8.3 El desarrollo del follaje en largo y peso se ve afectado por las frecuencias de riego evaluadas; presentando las frecuencias de 8 y 12 días el mayor desarrollo.
- 8.4 En ninguna de las frecuencias utilizadas se observó mortalidad de plantas, siendo el número de plantas vivas al final del experimento el mismo en todas las parcelas.

- 8.5 La lámina de agua consumida por el cultivo de zanahoria es menor cuando el intervalo de riego se alarga, obteniéndose las láminas consumidas totales de 335.7, 178.9, 161.4, 122.0 y 118.0 milímetros, para intervalos de riego de 8, 12, 16, 20 y 24 días, respectivamente.
- 8.6 El agotamiento de la humedad aprovechable para cada tratamiento se va incrementando conforme la edad del cultivo de zanahoria avanza, siendo las etapas fenológicas de mediados y finales del ciclo las que presentan el mayor agotamiento de la humedad aprovechable; los valores del porcentaje de humedad del suelo en ningún tratamiento alcanzó el punto de marchitez permanente.
- 8.7 Los valores de evapotranspiración medida en el campo para todos los tratamientos regados, estadísticamente son diferentes con los valores de evapotranspiración calculado con las formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO. Por lo que dichas formulas no se adaptarán para calcular la evapotranspiración de zanahoria en la región.
- 8.8 Los coeficientes "C" promedio, obtenidos de la relación evapotranspiración/evaporación del tanque Rossbach Modelo Fv-122-R, para los tratamientos regados cada 8 y 12 días fueron de 0.21 para la etapa inicial, 0.51 para la etapa de desarrollo del cultivo, 0.97 para mediados del período y 0.66 para finales del período.

## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Se sugiere regar cada 12 días para obtener mayor rendimiento y tamaño de raíz, debido a que esta frecuencia junto con la de 8 días, con la cual son estadísticamente iguales, rindieron una mayor producción en comparación con las otras.
- 9.2 Se recomienda continuar realizando este tipo de investigaciones en la misma región, época y cultivo, con el fin de confirmar los resultados obtenidos.
- 9.3 Debido a que ninguna de las formulas evaluadas en este experimento calcula correctamente la evapotranspiración en esta región y cultivo, no se recomienda utilizarlas en la determinación del uso del agua.
- 9.4 Los coeficientes obtenidos para estimar la evapotranspiración en función de la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A", pueden utilizarse como datos preliminares. Se recomienda seguirlos afinando, ya que constituye un método sencillo, práctico y aplicable para calcular la evapotranspiración.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILERA, M.; MARTINEZ, R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 2 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio de Irrigación. 321 p.
2. CASSERES, E. 1966. Producción de hortalizas. Costa Rica, IICA. p. 171-175.
3. CHINCHILLA, V. 1976. Sanidad vegetal. Guatemala, Ministerio de Agricultura. 12 p.
4. DISAGRO (Gua.) 1988. Requerimientos nutricionales de las plantas. Guatemala. Boletín Informativo no. 3. 10 p.
5. DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. 187 p.
6. DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. 212 p.
7. FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos, manual de laboratorio. San José, C.R., IICA. 212 p.
8. GRASSL, G.J. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos, criterios y procedimientos. Venezuela, CIDIAT. Serie Riego y Drenaje Material Didáctico no. Rd-8. 88 p.
9. GUDIEL, V.M. 1980. Manual agrícola Superb. 5 ed. Guatemala, Superb. 291 p.
10. HARGREAVES, H.G. s.f. Estimating crop evapotranspiration requirements. E.E.U.U., Utah State University, International Irrigation Center. 10 p.
11. ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, V.E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. España, Reverté. 369 p.
12. LINSLEY, R.; KHLER, M. 1984. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México. Mc-Graw-Hill. 123 p.

13. PINEDA HERRERA, D.A. 1987. Efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de la cebolla (Allium cepa L.) para la unidad de riego Laguna El Hoyo, municipio de Monjas, Jalapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 61 p.
14. SANCHEZ CHAVEZ, J.F. 1984. Efecto de seis frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración de cebolla (Allium cepa L.) para la zona de Bárcenas, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 66 p.
15. SANDOVAL ILLESCAS, J. Resumen de la investigación realizada en frecuencias de riego y evapotranspiración de 1982 a 1987. 18 p.  
  
Sin publicar.
16. \_\_\_\_\_ . 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
17. SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. p. 39

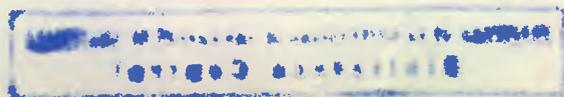
*Vo. Bo.*  
*Patualle*



## II. APENDICE

Cuadro 6. Rendimiento de raíz (sin follaje) en toneladas métricas por hectárea, para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL Y <sub>i</sub>	PROMEDIO Y <sub>i</sub>
F-8	19.53	22.70	29.03	26.13	97.39	24.35
F-12	18.21	21.64	21.64	23.76	85.25	21.31
F-16	19.27	15.84	16.89	17.69	69.69	17.42
F-20	12.93	15.84	19.53	14.25	62.55	15.64
F-24	10.29	12.40	7.39	11.09	41.17	10.29
TOTALES Y <sub>i</sub>	80.23	88.42	94.48	92.92	356.05	



**Cuadro 7. Análisis de Varianza para el rendimiento de raíz en toneladas métricas por hectárea.**

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	24.507			3.49 <sup>+</sup>	5.95 <sup>++</sup>
Tratamiento	4	465.563	116.391	16.14	3.26 <sup>+</sup>	5.41 <sup>++</sup>
Error	12	86.559	7.213			
TOTAL:	19	576.629				

C.V.: Coeficiente de Variación = 15.085%

**Cuadro 8. Prueba de Tukey para rendimiento de raíz en toneladas métricas por hectárea.**

TRATAMIENTO	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	24.35	a
F-12	21.31	a
F-16	17.42	b
F-20	15.64	b
F-24	10.29	c

\* Letras iguales corresponden a tratamientos en los cuales no existe diferencia estadísticamente significativa.

**Cuadro 9. Rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea para cada tratamiento y repetición.**

	I	II	III	IV	TOTAL Yi	PROMEDIO Yi
F-8	40.38	43.28	56.48	44.34	184.48	46.13
F-12	35.63	39.06	40.64	39.85	155.18	38.80
F-16	36.16	29.98	30.62	35.89	132.65	33.17
F-20	24.81	30.09	37.74	25.07	117.71	29.43
F-24	19.27	22.43	12.67	18.48	72.84	18.21
TOTALES Yi	156.25	164.84	178.15	163.63	662.86	

**Cuadro 10. Análisis de varianza para el rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea.**

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	49.891			3.49 <sup>+</sup>	5.95 <sup>++</sup>
Tratamiento	4	1749.088	437.272	16.99	3.26 <sup>+</sup>	5.41 <sup>++</sup>
Error	12	308.910	25.742			
TOTAL:	19	2107.889				

C.V.: Coeficiente de Variación = 15.307%

**Cuadro 11. Prueba de Tukey para el rendimiento de plantas completas de zanahoria en toneladas métricas por hectárea.**

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	46.13	a
F-12	38.80	a
F-16	33.17	b
F-20	29.43	b
F-24	18.21	c

\* Letras iguales corresponden a tratamientos en los cuales no existe diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 12. Diámetro de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL Yi	PROMEDIO Yi
F-8	4.12	4.23	4.80	4.25	17.40	4.35
F-12	4.05	3.93	3.99	4.30	16.26	4.06
F-16	3.65	3.45	3.48	3.63	14.20	3.55
F-20	2.92	2.81	3.11	3.01	11.85	2.96
F-24	2.60	2.55	2.30	2.67	10.11	2.53
TOTALES Yi	17.34	16.96	17.68	17.85	69.83	

Cuadro 13. Análisis de varianza para el diámetro de raíz en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	0.093			3.49 <sup>+</sup>	5.95 <sup>++</sup>
Tratamiento	4	9.044	2.2611	43.26	3.26 <sup>+</sup>	5.41 <sup>++</sup>
Error	12	0.6271	0.0523			
TOTAL:	19	9.7647				

C.V.: Coeficiente de Variación = 6.55%

Cuadro 14. Prueba de Tukey para el diámetro de raíz en centímetros.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	4.35	a
F-12	4.06	a
F-16	3.55	b
F-20	2.96	c
F-24	2.53	d

\* Letras iguales corresponden a tratamientos en los cuales no existe diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 15. Largo de raíz en centímetros para cada tratamiento y repetición.

	I	II	III	IV	TOTAL Yi	PROMEDIO Yi
F-8	11.38	12.42	11.80	11.80	47.40	11.85
F-12	11.47	11.68	12.00	11.80	46.95	11.74
F-16	12.40	10.83	11.25	10.53	45.01	11.25
F-20	10.02	9.25	11.25	10.13	40.65	10.16
F-24	9.91	10.82	7.35	9.57	37.65	9.41
TOTALES Yi	55.18	55.00	53.65	53.83	217.66	

Cuadro 16. Análisis de Varianza para el largo de raíz en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F CALCULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	0.369			3.49 <sup>+</sup>	5.95 <sup>NS</sup>
Tratamiento	4	17.969	4.492	4.96	3.26 <sup>+</sup>	5.41 <sup>NS</sup>
Error	12	10.867	0.906			
TOTAL:	19	29.205				

C.V.: Coeficiente de Variación = 8.744%

Cuadro 17. Prueba de Tukey para el largo de raíz en centímetros.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	11.85	a
F-12	11.74	a
F-16	11.25	a
F-20	10.16	b
F-24	9.41	c

\* Letras iguales corresponden a tratamientos en los cuales no existe diferencia estadísticamente significativa.

**Cuadro 18. Largo de follaje en centímetros para cada tratamiento y repetición.**

	I	II	III	IV	TOTAL Y <sub>i</sub>	PROMEDIO Y <sub>i</sub>
F-8	52.93	51.23	60.97	50.73	215.86	53.96
F-12	51.43	48.50	53.54	49.87	203.34	50.84
F-16	44.67	47.83	47.83	44.17	184.50	46.12
F-20	40.16	43.10	46.30	38.73	168.29	42.07
F-24	36.90	33.40	28.70	30.77	129.77	32.44
TOTALES Y <sub>i</sub>	226.09	224.06	237.34	214.27	901.76	



Cuadro 19. Análisis de varianza para el largo de follaje en centímetros.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	F TABULADA	
					0.05	0.01
Bloque	3	53.758			3.49 <sup>+</sup>	5.95 <sup>++</sup>
Tratamiento	4	1127.652	281.913	30.36	3.26 <sup>+</sup>	5.41 <sup>++</sup>
Error	12	111.422	9.285			
TOTAL:	19	1292.832				

C.V.: Coeficiente de Variación = 6.758%

Cuadro 20. Prueba de Tukey para largo de follaje en centímetros.

TRATAMIENTOS	MEDIAS	INTERPRETACIONES*
F-8	53.96	a
F-12	50.83	a
F-16	46.12	b
F-20	42.08	b
F-24	32.44	c

\* Letras iguales corresponden a tratamientos en los cuales no existe diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 21. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para todos los tratamientos durante los riegos generales.

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE	LAMINA PARCIAL CMS.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		28.10		27.70	1.10	0.275	0.110	0.385
25-50	13-2-89	28.20	18-2-89	27.18	1.02	0.255	0.102	0.357
0-25		28.27		27.18	1.09	0.273	0.109	0.382
25-50	20-2-89	27.88	25-2-89	27.10	0.78	0.195	0.078	0.015
0-25		28.04		26.81	1.23	0.308	0.123	0.431
25-50	27-2-89	28.30	4-3-89	26.48	1.82	0.456	0.186	0.638

Lámina Total (cms.): 2.208

Cuadro 22. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-8

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE +	LAMINA PARCIAL CMS.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		30.29		25.80	4.49	1.12	0.67	1.80
	7-3-89		12-3-89					
25-50		29.75		29.32	0.43	0.11	0.07	0.18
0-25		26.96		25.75	1.22	0.30	0.18	0.49
	15-3-89		20-3-89					
25-50		36.06		28.70	7.36	1.94	1.16	3.10
0-25		29.82		27.70	2.12	0.53	0.32	0.85
	23-3-89		28-3-89					
25-50		34.06		28.18	5.88	1.55	0.93	2.47
0-25		31.87		29.00	2.87	0.72	0.43	1.15
	31-3-89		5-4-89					
25-50		31.87		27.20	4.67	1.23	0.74	1.96
0.25		31.37		27.80	3.57	0.89	0.54	1.43
	8-4-91		13-4-89					
25-50		35.70		28.18	7.52	1.98	1.19	3.16
0-25		32.36		25.09	7.26	1.82	1.09	2.91
	16-4-89		21-4-89					
25-50		33.10		23.13	9.97	2.62	1.57	4.20
0-25		30.49		22.42	8.07	2.02	1.21	3.23
	24-4-89		29-4-89					
25-50		30.64		28.00	2.64	0.69	0.42	1.11
0-25		37.53		27.70	2.12	0.53	0.32	0.85
	2-5-89		9-5-89					
25-50		34.15		28.18	5.88	1.55	0.93	2.47

Lámina Parcial (cms.): 31.36  
 Riegos Generales (cms.): 2.21  
 Lámina Total Consumida (cms): 33.57

+ Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 23. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-12

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE +	LAMINA PARCIAL CMS.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		30.29		27.21	3.08	0.77	0.26	1.03
25-50	7-3-89	29.75	20-3-89	26.05	3.70	0.97	0.32	1.29
0-25		28.11		24.70	3.41	0.86	0.29	1.15
25-50	19-3-89	32.28	28-3-89	26.40	5.78	1.52	0.51	2.03
0-25		30.60		23.13	7.47	1.87	0.62	2.49
25-50	31-3-89	31.50	9-4-89	25.39	6.11	1.61	0.54	0.87
0-25		30.04		23.48	6.56	1.64	0.55	2.19
25-50	12-4-89	30.53	21-4-89	23.09	7.44	1.96	0.65	2.61
0-25		31.54		24.36	7.18	1.82	0.91	2.73
25-50	24-4-89	32.64	3-5-89	23.40	7.64	1.94	0.65	2.59

Lámina Parcial (cms.): 15.68  
 Riegos Generales (cms.): 2.21  
 Lámina Total Consumida (cms.): 17.89

+ Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 24. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-16

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE +	LAMINA PARCIAL CMS.
	Después de riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		30.29		28.00	2.29	0.57	0.13	0.70
25-50	7-3-89	29.75	20-3-89	25.50	4.25	1.12	0.26	1.38
0-25		30.30		26.09	4.21	1.05	0.24	1.29
25-50	23-3-89	31.80	5-4-89	28.00	3.80	0.99	0.23	1.22
0-25		33.67		23.15	10.52	2.63	0.61	3.24
25-50	8-4-89	32.60	21-4-89	24.30	8.30	2.18	0.50	2.68
0-25		27.79		20.38	7.41	1.86	0.43	2.29
25-50	24-4-89	30.00	7-5-89	26.50	3.50	0.92	0.21	1.13

Lámina Parcial (Cms.): 13.93  
 Riegos Generales (Cms.): 2.21  
 Lámina Total Consumida (Cms.): 16.14

+ Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 25. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-20.

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD		DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE +	LAMINA PARCIAL CMS.		
	Después de Riego Fecha	%					Antes de Riego Fecha	%
0-25	7-3-89	30.29	24-3-89	24.35	5.94	1.49	0.26	1.75
25-50		29.75	25.20	4.55	1.20	0.21	1.41	
0-25	27-3-89	29.91	13-4-89	23.00	6.91	1.73	0.31	2.04
25-50		28.80	24.79	4.01	1.05	0.19	1.24	
0-25	16-4-89	25.65	3-5-89	20.28	5.37	1.35	0.23	1.58
25-50		28.85	27.67	6.18	1.63	0.29	1.92	
0-25	6-5-89	27.37	---	---	---	---	---	---
25-50		28.59						

Lámina Parcial (cms.): 9.99  
 Riegos Generales (cms.): 2.21  
 Lámina Total Consumida (cms.): 12.20

+ Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

Cuadro 26. Control de humedad antes y después de riego y cálculo de la lámina consumida para el tratamiento F-24.

ESTRATO CMS.	PORCENTAJE DE HUMEDAD				DIFERENCIA	CONSUMO CMS.	AJUSTE +	LAMINA PARCIAL CMS.
	Después de Riego		Antes de Riego					
	Fecha	%	Fecha	%				
0-25		30.29		20.37	9.92	2.48	0.35	2.83
25-50	7-3-89	29.75	28-3-89	20.43	9.32	2.45	0.35	2.80
0-25		29.95		20.68	9.27	2.32	0.33	2.65
25-50	31-3-89	28.85	21-4-89	24.47	4.38	1.15	0.16	1.31
0-25		31.02		--	--	--	--	--
25-50	2-5-89	29.60						

Lámina Parcial (cms.): 9.56  
 Riegos Generales (cms.): 2.21  
 Lámina Total Consumida (cms.): 11.80

+ Ajuste proporcional que corresponde a tres días en los cuales no se determinó en el campo, el consumo de agua entre los muestreos previos (1 día) y posteriores (2 días) al riego.

BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**Cuadro 27. Número de riegos y láminas de agua aplicados para los cinco tratamientos, incluyendo el período de establecimiento (cms)**

NUMERO DE RIEGOS <sup>++</sup>	LAMINAS APLICADAS EN CADA RIEGO (CMS.)				
	TRATAMIENTOS				
	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24
1	2.17	2.17	1.88	3.55	5.81
2	2.11	2.59	2.37	4.00	4.69
3	2.28	3.15	4.09	5.26	2.35 <sup>+</sup>
4	1.91	3.82	4.24	1.05 <sup>+</sup>	
5	1.83	4.32			
6	1.89	2.10 <sup>+</sup>			
7	3.89				
8	13.06				
Láminas aplicadas en la diferenciación de los tratamientos	29.14	18.15	12.58	13.86	12.85
Lámina aproximada aplicadas en el establecimiento	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
Lámina total aplicada equivalente a la evapotranspiración del cultivo	36.39	25.40	19.83	21.22	20.10

+ Láminas de agua consumidas durante la etapa previa a la cosecha y que no se repusieron en riego.

++ No incluye los 3 riegos aplicados en la etapa de establecimiento (primeros 21 días después del trasplante).

Cuadro 28. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Penman modificada por FAO.

FECHA	T C max promedio	T C min promedio	T C media	tpunto rocío	ea mbar (Cuadro 33)	ed mbar (Cuadro 34)	ea-ed mbar	Semana Número	Viento km/día (Cuadro 35)	f(u) (Cuadro 36)	(1-W) (Cuadro 37)	(W) (Cuadro 38)	Ra mm/día (Cuadro 39)	N (horas) (Cuadro 40)
12-18/2/89	21.32	14.02	17.67	11.91	20.20	13.92	6.28	1	359.54	1.24	0.304	0.696	13.52	11.6
19-25/2/89	24.23	13.78	19.00	10.88	22.00	13.05	8.95	2	319.32	1.13	0.290	0.710	13.52	11.6
26-04/3/89	19.40	14.73	17.06	6.77	19.50	10.15	9.00	3	333.00	1.17	0.312	0.688	13.52	11.6
05-11/3/89	25.00	11.21	18.10	9.47	20.74	11.88	8.86	4	185.31	0.77	0.299	0.701	14.85	12.0
12-18/3/89	27.62	9.88	18.75	7.36	20.65	10.41	10.24	5	316.14	1.12	0.292	0.708	14.85	12.0
19-25/3/89	21.48	12.24	16.86	9.44	19.23	11.85	7.38	6	242.46	0.92	0.314	0.686	14.85	12.0
26-01/4/89	25.44	14.16	19.80	13.31	23.12	14.62	8.50	7	182.16	0.76	0.282	0.718	14.85	12.0
02-08/4/89	25.60	14.43	20.02	14.83	23.45	16.91	6.54	8	225.72	0.88	0.280	0.720	15.45	12.5
09-15/4/89	26.62	14.30	20.46	11.56	24.15	13.63	10.52	9	217.26	0.86	0.275	0.725	15.45	12.5
16-22/4/89	22.18	16.18	19.18	15.21	22.25	17.33	4.92	10	189.99	0.78	0.288	0.712	15.45	12.5
23-29/4/89	26.47	15.36	20.92	14.18	24.85	16.20	8.65	11	213.34	0.84	0.269	0.731	15.45	12.5
30-06/5/89	27.31	15.53	21.67	16.55	25.90	18.86	7.04	12	144.36	0.66	0.263	0.737	15.35	12.3
07-10/5/89	25.77	15.34	20.56	14.37	24.24	16.41	7.83	13	190.62	0.78	0.274	0.726	15.35	12.3

Continuación Cuadro 28.../

Semana Número	n (horas)	Rs	n/N	c (Cuadro 41)	f(t) (Cuadro 42)	f(ed) (Cuadro 43)	f(n/N) Cuadro 44)	Semana Número	Rns	Rnl	Rn mm/día	RH max %	Udía m/seg	Unoche m/seg	Udía Unoche	c (C.45)	Eto mm/día	Semana Número	Kc	Et (cultivo) mm/día
1	7.96	8.04	0.69	0.45	14.18	0.188	0.78	1	6.08	2.08	4.00	97.29	5.80	5.30	1.09	0.72	3.71	1	0.70	2.60
2	7.96	8.04	0.69	0.45	14.18	0.188	0.78	2	6.08	2.08	4.00	97.29	5.08	4.77	1.06	0.72	4.16	2	0.71	2.95
3	7.96	8.04	0.69	0.45	14.18	0.188	0.78	3	6.08	2.08	4.00	97.32	5.73	4.54	1.26	0.72	4.35	3	0.75	3.26
4	8.84	9.21	0.74	0.47	14.24	0.189	0.82	4	6.98	2.15	4.83	97.32	5.75	1.96	1.91	0.85	4.60	4	0.80	3.68
5	8.84	9.21	0.74	0.47	14.24	0.189	0.82	5	6.98	2.15	4.83	97.29	4.85	4.83	1.00	0.80	5.41	5	0.84	4.54
6	8.84	9.21	0.74	0.47	14.24	0.189	0.82	6	6.98	2.15	4.83	97.32	5.04	2.44	2.07	0.79	4.26	6	0.88	3.75
7	8.84	9.21	0.74	0.47	14.24	0.189	0.82	7	6.98	2.15	4.83	97.32	3.27	2.35	1.39	0.85	4.49	7	0.92	4.13
8	11.55	10.97	0.92	0.53	14.63	0.159	0.98	8	8.19	2.28	5.91	98.06	4.52	2.44	1.85	0.79	4.62	8	0.99	4.57
9	11.55	10.97	0.92	0.53	14.63	0.159	0.98	9	8.19	2.28	5.91	98.06	3.61	3.09	1.17	0.85	5.54	9	1.03	5.71
10	11.55	10.97	0.92	0.53	14.63	0.159	0.98	10	8.19	2.28	5.91	98.06	3.13	2.72	1.15	0.85	4.51	10	1.00	4.51
11	11.55	10.97	0.92	0.53	14.63	0.159	0.98	11	8.19	2.28	5.91	98.06	3.66	2.94	1.25	0.84	5.20	11	0.97	5.04
12	12.05	11.41	0.94	0.54	14.82	0.151	1.00	12	8.56	2.24	6.32	98.33	2.88	1.57	1.84	0.89	5.18	12	0.85	4.40
13	12.05	11.41	0.94	0.54	14.82	0.151	1.00	13	8.56	2.24	6.32	98.33	3.36	2.52	1.33	0.85	5.26	13	0.73	3.84

Cuadro 29. Cálculo de la evapotranspiración semanal y total por la fórmula de Blaney-Criddle modificada por FAO.

FECHA	Fracc. Sem.	t C	P % (Cuadro 46)	f mm Diario	HR % min.	Fig. 9	u	N Cuadro 40	n/N	Fig. 9	Vel. Viento m/seg.	Fig. 9	Eto. mm/día	Kc	Et(cultivo) mm/día
12-18/2/89	1	17.54	0.26	4.2	49	med.	9.95	11.6	0.85	alta	5.82	3	5.6	0.74	4.14
19-25/2/89	1	19.00	0.26	4.3	37	med.	8.87	11.6	0.76	med.	5.05	3	5.4	0.76	4.10
26-04/3/89	1	17.06	0.26	3.9	41	med.	9.05	11.6	0.78	med.	5.66	3	3.8	0.78	2.96
05-11/3/89	1	18.10	0.27	4.5	25	med.	7.94	12.0	0.66	med.	3.13	2	4.6	0.82	3.77
12-18/3/89	1	18.75	0.27	4.0	35	med.	9.02	12.0	0.75	med.	1.88	2	3.7	0.87	2.22
19-25/3/89	1	16.86	0.27	4.0	28	med.	10.25	12.0	0.85	alta	2.66	2	4.3	0.91	3.91
26-01/4/89	1	19.80	0.27	4.5	38	med.	8.15	12.0	0.68	med.	2.80	2	4.6	0.96	4.42
02-08/4/89	1	20.02	0.28	5.0	34	med.	8.26	12.5	0.69	med.	3.21	2	5.2	1.01	5.25
09-15/4/89	1	20.46	0.28	4.8	31	med.	8.45	12.5	0.68	med.	3.65	2	4.8	1.03	4.94
16-22/4/89	1	19.18	0.28	4.9	34	med.	9.31	12.5	0.75	med.	3.11	2	4.9	1.00	4.90
23-29/4/89	1	20.92	0.28	4.8	41	med.	9.20	12.5	0.74	med.	3.96	2	4.8	0.97	4.66
30-06/5/89	1	21.67	0.29	5.1	40	med.	7.25	12.8	0.57	med.	2.55	2	5.2	0.85	4.42
07-10/5/89	1	20.56	0.29	5.1	41	med.	8.25	12.8	0.64	med.	3.32	2	5.2	0.73	3.80

**Cuadro 30. Valores de tasa de evapotranspiración semanal y total en milímetros para los diferentes tratamientos, Penman y Blaney-Criddle modificados por FAO y evaporación de Tanque.**

FECHA	F-8	F-12	F-16	F-20	F-24	PENMAN	BLANEY-CRIDDLE	TANQUE
12-18/2/89	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	18.2	29.0	38.7
19-25/2/89	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	20.6	28.7	28.9
26-04/3/89	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	22.8	20.7	37.3
05-11/3/89	17.4	13,5	9.1	11.1	16.4	25.8	26.4	46.3
12-18/3/89	28.3	15.0	9.1	11.1	16.4	38.8	15.5	42.1
19-25/3/89	27.3	18.6	10.4	11.1	16.4	26.2	26.0	34.5
26-01/4/89	28.0	11.1	11.0	11.5	15.3	28.9	30.9	37.8
02-08/4/89	32.8	19.6	21.0	11.5	11.6	32.0	36.8	34.5
09-15/4/89	46.5	26.8	25.9	11.5	11.6	40.0	34.6	36.7
16-22/4/89	58.7	28.0	22.8	12.4	11.6	31.6	34.3	23.7
23-29/4/89	39.0	19.0	15.0	12.5	10.5	35.3	32.6	27.2
30-06/5/89	20.7	15.0	15.0	12.4	10.5	30.8	30.9	26.7
07-10/5/89 <sup>+</sup>	12.4	12.7	12.7	10.6	9.9	26.9	26.6	16.7
TOTAL:	333.2	201.4	174.1	137.7	152.3	377.9	373.0	433.6

+ Este período comprende únicamente 4 días.

Cuadro 31. Coeficiente de determinación " $r^2$ " de la evapotranspiración semanal de los tratamientos versus formulas de Penman y Blaney-Criddle modificadas por FAO.

TRATAMIENTOS	FORMULA	$r_c^2$	$r_t^2$
F-8	Penman	0.58	0.64
	Blaney Criddle	0.21	0.64
F-12	Penman	0.53	0.64
	Blaney-Criddle	0.20	0.64
F-16	Penman	0.45	0.64
	Blaney-Criddle	0.41	0.64
F-20	Penman	0.43	0.64
	Blaney-Criddle	0.02	0.64
F-24	Penman	0.18	0.64
	Blaney-Criddle	0.09	0.64

$$r_t^2 (11 \text{ G.L.}, 0.01) = 0.64$$

**Cuadro 32. Relación entre evapotranspiración semanal de los tratamientos y evaporación semanal del tanque evaporímetro (Et/Ev)**

SEMANA NUMERO (FECHAS)	TRATAMIENTOS				
	F-8 Et/Ev	F-12 Et/Ev	F-16 Et/Ev	F-20 Et/Ev	F-24 Et/Ev
12-18/2/89	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
19-25/2/89	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
26-04/3/89	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
05-11/3/89	0.38	0.29	0.20	0.24	0.35
12-18/3/89	0.70	0.36	0.22	0.26	0.39
19-25/3/89	0.79	0.54	0.30	0.32	0.48
26-01/4/89	0.74	0.29	0.29	0.30	0.40
02-08/4/89	0.95	0.57	0.61	0.33	0.34
09-15/4/89	1.26	0.73	0.70	0.31	0.32
16-22/4/89	2.47	1.18	0.96	0.52	0.49
23-29/4/89	1.40	0.70	0.55	0.46	0.39
30-06/5/89	0.71	0.51	0.51	0.42	0.36
07-19/5/89	0.74	0.76	0.76	0.63	0.59

Cuadro 33. Presión saturante del vapor ea en mbar en función de la temperatura media del aire t en C

Temperatura C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea mbar	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.4	10.0	10.7	11.5	12.3	13.1	14.0	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6	22.0

Temperatura C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea mbar	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8*	40.1	42.4	44.9	47.6	50.2	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

INSTITUTO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

Cuadro 34. Presión del vapor ed calculada a partir de la temperatura en el punto de rocío

Temperatura C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
ed mbar	6.1	7.1	8.1	9.3	10.7	12.3	14.0	16.0	18.2*	20.6	23.4	26.4	29.3	33.0	37.8	42.4	47.5	53.2	59.4	66.3	73.8

**Cuadro 35. Factores para corregir la velocidad del viento en alturas superiores o inferiores a 2 metros.**

<b>ALTURA DE MEDICION, m</b>	<b>FACTOR DE CORRECCION</b>
0.50	1.35
1.00	1.15
1.50	1.06
2.00	1.00
3.00	0.93
4.00	0.88
5.00	0.85
6.00	0.83
10.00	0.77
11.00	0.76

Cuadro 36. Valores de la función del viento  $f(u) = 0,27 \left(1 + \frac{U^2}{100}\right)$

para una velocidad del viento a una altura de 2m en km/día

Wind in km/day	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	—	.30	.32	.35	.38	.41	.43	.46	.49	.51
100	.54	.57	.59	.62	.65	.67	.70	.73	.76	.78
200	.81	.84	.86	.89*	.92	.94	.97	1.00	1.03	1.05
300	1.08	1.11	1.13	1.16	1.19	1.21	1.24	1.27	1.30	1.32
400	1.35	1.38	1.40	1.43	1.46	1.39	1.51	1.54	1.57	1.59
500	1.62	1.65	1.67	1.70	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.80
600	1.89	1.92	1.94	1.97	2.00	2.02	2.05	2.08	2.11	2.15
700	2.16	2.19	2.21	2.24	2.27	2.29	2.32	2.35	2.38	2.40
800	2.43	2.46	2.48	2.51	2.54	2.56	2.59	2.62	2.65	2.65
900	2.70									

Cuadro 37. Valores del factor de ponderación (1-W) para los efectos del viento y de la humedad sobre la Eto a diferentes temperaturas y altitudes.

TEMPERATURA C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
(1-W) a una altitud de (en m)																				
0	0.57	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.32	.29	.27	.25	.23*	.22	.20	.18	.17	.16	.15
500	.56	.52	.49	.46	.43	.45	.38	.35	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.21	.19	.18	.16	.15	.14
1 000	.54	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.20	.18	.17	.15	.14	.13
2 000	.51	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12
3 000	.48	.45	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11
4 000	.46	.42	.39	.36	.34	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.19	.18	.16	.15	.14	.13	.12	.11	.10

Cuadro 38. Valores del factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la ETo a diferentes temperaturas y altitudes

TEMPERATURA C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W a una altitud de (en m)																				
0	0.43	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.68	.71	.73	.75	.77*	.78	.80	.82	.83	.84	.85
500	.44	.48	.51	.54	.57	.60	.62	.65	.67	.70	.72	.74	.76	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86
1 000	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.86	.87
2 000	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88
3 000	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88	.89
4 000	.54	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.89	.90	.90

Cuadro 39. La radiación extraterrestre Ra expresada en equivalente de evaporación, en mm/día

HEMISFERIO NORTE													HEMISFERIO SUR											
En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Lat.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.3	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8*	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0	15.0	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Cuadro 40. Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación en diferentes meses y latitudes.

Lats. Norte	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Lats. Sur	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.
50	8.5	10.1	11.3	13.3	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9*	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Cuadro 41. Factor de conversión de la radiación extraterrestre en radiación solar neta,  $R_{ns}$ , para una reflexión dada de un 25% y diferentes relaciones entre las horas reales de insolación y las máximas posibles (1- ) (0,25 + 0,50 n/N)

n/N	0.0	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50	.55	.60	.65	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.00
$f(n/N) = 0.25 + 0.50 n/N$	0.19	.21	.22	.24	.26	.28	.30	.32	.34	.36	.37	.39	.41	.43	.45	.47	.49*	.51	.52	.54	.56

Cuadro 42. Corrección para la temperatura  $f(t)$  con respecto a la radiación de ondas largas  $R_{nl}$

t °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(t) = T_k^4$	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3*	16.7	17.2	17.7	18.1

Cuadro 43. Corrección para la presión del vapor  $f(ed)$   $R_{nl}$  con respecto a la radiación de ondas largas

ed mbar	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$f(ed) = 0.34 - 0.044 ed$	.23	.22	.20	.19	.18	.16	.15	.14*	.13	.12	.12	.11	.10	.09	.08	.08	.07	.06

Cuadro 44. Corrección para la relación entre las horas reales de fuerte insolación y las máximas posibles  $f(n/N)$  con respecto a la radiación de ondas largas  $R_{nl}$ .

n/N	0	.05	.1	.15	.2	.25	.3	.35	.4	.45	.5	.55	.6	.65	.7	.75	.8	.85	.9	.95	1.0
$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N$	.10	.15	.19	.24	.28	.33	.37	.42	.46	.51	.55	.60	.69	.73	.78	.82*	.87	.91	.96	1.00	

Cuadro 45. Factor de corrección c en la ecuación de Penman.

RS, mm/día	RHmax = 30%				RHmax = 60%				RHmax = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Udía, m/s	Udía/Unoché = 4.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.79	.24	.92	.97	.92	1.00	1.11	1.19	.99	1.10	1.27	1.32
6	.68	.77	.87	.93	.85	.96	1.11	1.19	.94	1.10	1.26	1.33
9	.55	.65	.78	.90	.76	.88	1.02	1.14	.88	1.01	1.16	1.27
	Udía/Unoché = 3.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.76	.81	.88	.94	.87	.96	1.06	1.12	.94	1.04	1.18	1.28
6	.61	.68	.81	.88	.77	.88	1.02	1.10	.86	1.01	1.15	1.22
9	.46	.56	.72	.82	.67	.79	.88	1.05	.78	.92	1.06	1.18
	Udía/Unoché = 2.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.69	.76	.85	.92	.83	.91	.99*	1.05*	.89	.98	1.10*	1.14
6	.53	.61	.74	.84	.70	.80	.94	1.02	.79	.92	1.05	1.12
9	.37	.48	.65	.76	.59	.70	.84	.95	.71	.81	.96	1.06
	Udía/Unoché = 1.0											
0	.86	.90	1.00	1.00	.96	.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	.64	.71	.82	.89	.78	.86	.94*	.99*	.85	.92	1.01*	1.05
6	.43	.53	.68	.79	.62	.70	.84	.93	.72	.82	.95	1.00
9	.27	.41	.59	.70	.50	.60	.75	.87	.62	.72	.87	.96

Cuadro 46. Porcentaje diario medio (p) de horas diurnas anuales a diferentes latitudes.

LATITUD NORTE SUR <u>1/</u>	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.
60	.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
58	.16	.21	.26	.32	.37	.40	.39	.34	.28	.23	.18	.15
56	.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
54	.18	.22	.26	.31	.36	.38	.37	.33	.28	.23	.19	.17
52	.19	.22	.27	.31	.35	.37	.36	.33	.28	.24	.20	.17
50	.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
48	.20	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.21	.19
46	.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
44	.21	.24	.27	.30	.33	.35	.34	.31	.28	.25	.22	.20
42	.21	.24	.27	.30	.33	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
40	.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35	.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30	.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31*	.30	.28	.26	.24	.23
25	.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24
20	.25	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.29	.28	.26	.25	.25
15	.26	.26	.27	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.25
10	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.26
5	.27	.27	.27	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
0	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27

1/ Latitudes Sur: aplíquense 6 meses de diferencia, según se indica.

Cuadro 47. Valores del factor f de Blaney-Criddle para diferentes temperaturas y porcentaje diario de horas diurnas anuales

t C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
p%																						
.14	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	
.16	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	
.18	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.4	4.6	4.8	
.20	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	5.1	5.3	
.22	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	
.24	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.4	
.26	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4.0	4.3	4.5	4.7	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.7	6.9	
.28	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.4	6.7	6.9	7.2	7.4	
.30	2.4	2.7	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.4	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.0	6.3	6.6	6.9	7.1	7.4	7.7	8.0	
.32	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7*	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	
.34	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	
.36	2.9	3.3	3.6	3.9	4.3	4.6	4.9	5.2	5.6	5.9	6.2	6.6	6.9	7.2	7.6	7.9	8.2	8.6	8.9	9.2	9.6	
.38	3.1	3.4	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2	5.5	5.9	6.2	6.6	6.9	7.3	7.6	8.0	8.3	8.7	9.0	9.4	9.7	10.1	
.40	3.3	3.6	4.0	4.4	4.7	5.1	5.5	5.8	6.2	6.6	6.9	7.3	7.7	8.0	8.4	8.8	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6	
.42	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.3	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.1	

**Cuadro 48. Coeficientes de cultivo kc correspondientes a cultivos extensivos y de hortalizas en diferentes fases de su crecimiento y según las condiciones climáticas predominantes.**

C U L T I V O	HUMEDAD		RH 70%		RH min 20%	
	VIENTO (m/seg)		0-5	5-8	0-5	5-8
	FASE DE DESARROLLO					
Todos los cultivos extensivos	Inicial	1	Utilícese la Figura No. 10 por interpolación			
"	de desarrollo del cultivo	2				
Alcachofas (perennes, cultivadas limpias)	mediados	3	0.95	0.95	1.0	1.05
	recolección	4	0.9	0.9	0.95	1.0
Cebada		3	1.5	1.1	1.15	1.2
		4	0.25	0.25	0.2	0.2
Frijoles verdes		3	0.95	0.95	1.0	1.05
		4	0.85	0.85	0.9	0.9
Frijoles secos Leguminosas		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.3	0.3	0.25	0.25
Remolachas (de mesa)		3	1.0	1.0	1.05	1.1
		4	0.9	0.9	0.95	1.0
Zanahoria		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	0.7	0.75	0.8	0.85
Ricino		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.5	0.5	0.5	0.5
Apio		3	1.0	1.05	1.1	1.15
		4	0.9	0.95	1.0	1.05
Maíz Dulce		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.95	1.0	1.05	1.1
Maíz (grano)		3	1.05	1.1	1.15	1.2
		4	0.55	0.55	0.6	0.6
Algodón		3	1.05	1.15	1.2	1.25
		4	0.65	0.65	0.65	0.7
Crucíferas (coles, coliflores, brécoles, coles de Bruselas)		3	0.95	1.0	1.05	1.1
		4	0.8	0.85	0.9	0.95
Pepino		3	0.9	0.9	0.95	1.0
Fresco		4	0.7	0.7	0.75	0.8
Cosechado a máquina		4	0.85	0.85	0.95	1.0

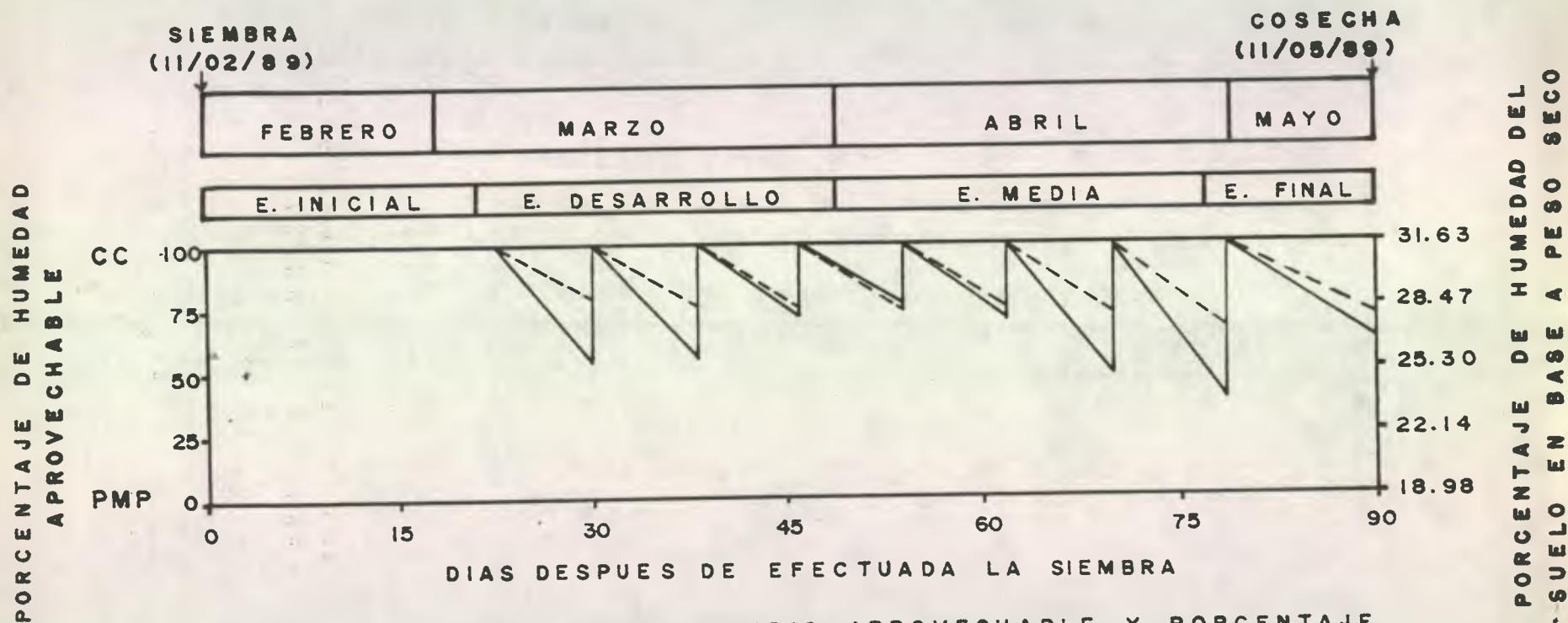


FIGURA 1 : PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A PESO SECO PARA EL TRATAMIENTO F-8

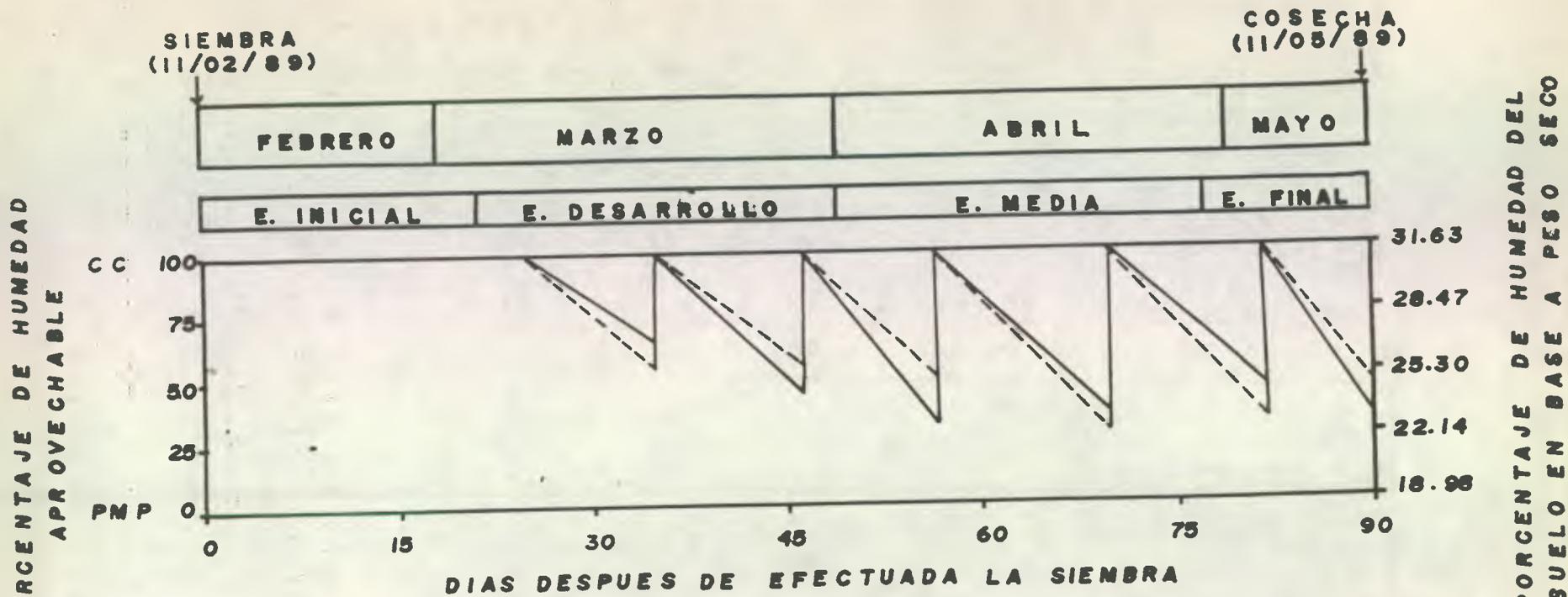


FIGURA 2 PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A PESO SECO PARA EL TRATAMIENTO F-12

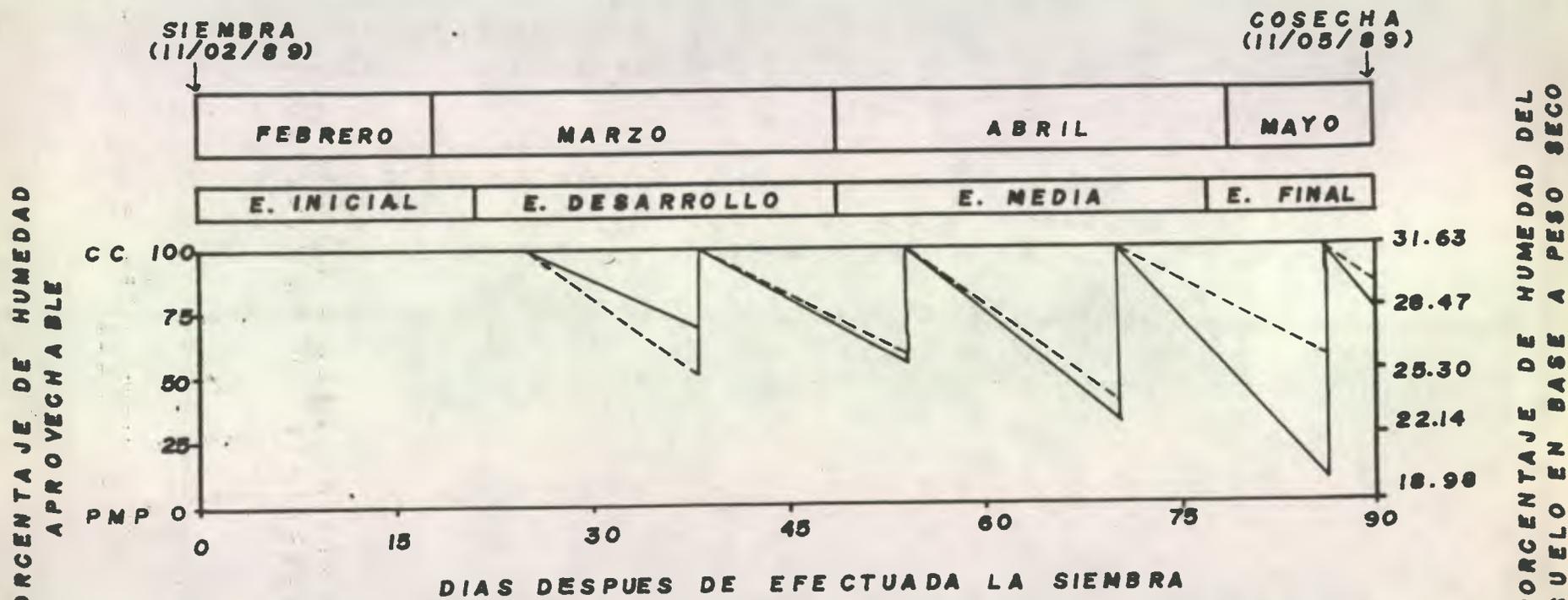


FIGURA 3 : PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A PESO SECO PARA EL TRATAMIENTO F-16

SIEMBRA  
(11/02/89)

COSECHA  
(11/05/89)

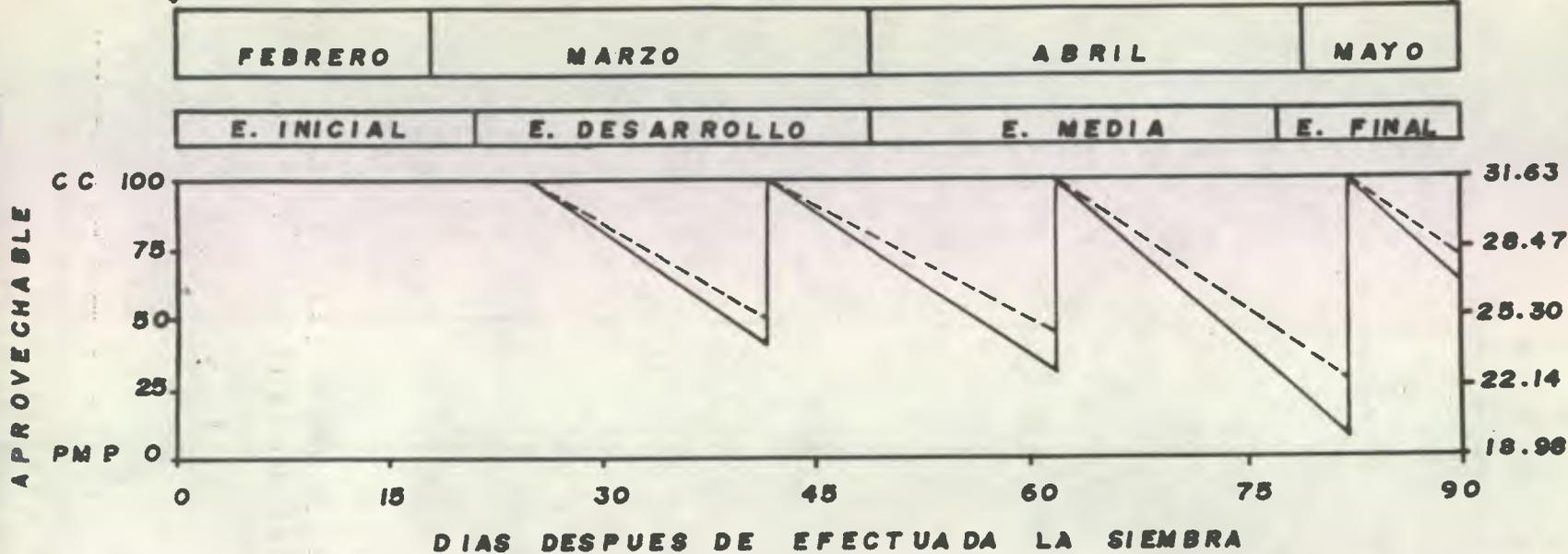


FIGURA 4 : PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A PESO SECO PARA EL TRATAMIENTO F-20

———— ESTRATO 0-25 cm.  
----- ESTRATO 25-50 cm.

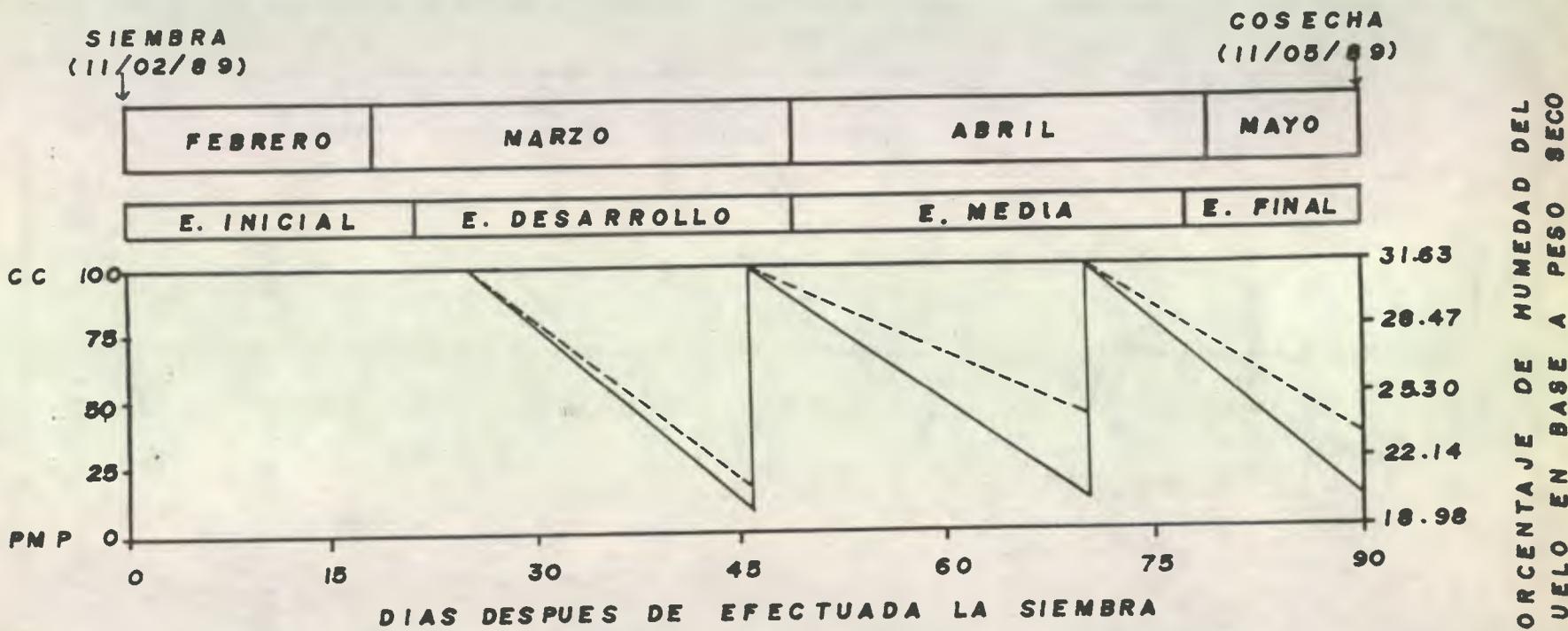


FIGURA 5 : PORCENTAJE DE HUMEDAD APROVECHABLE Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EN BASE A PESO SECO PARA EL TRATAMIENTO F-24

————— ESTRATO 0-25 cm.  
 - - - - - ESTRATO 25-50 cm.

ZANAHORIA: CLIMA TEMPLADO, VIENTOS DE MODERADOS A FUERTES. ETo EN LA FASE INICIAL ~ 3.71 mm/día

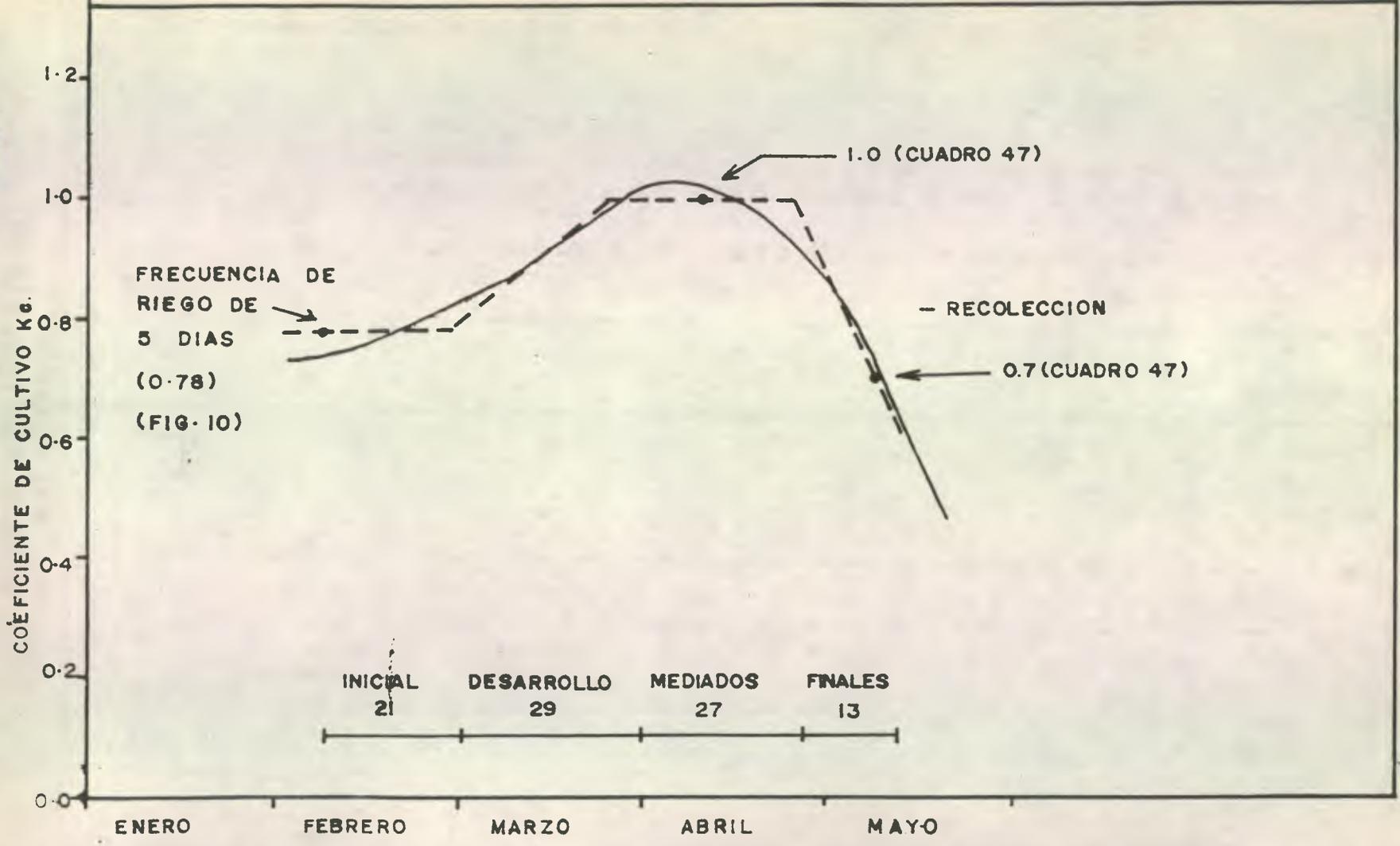


FIGURA 8.

CURVA DE COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc), PARA PENMAN (EN CASO DE ZANAHORIA).

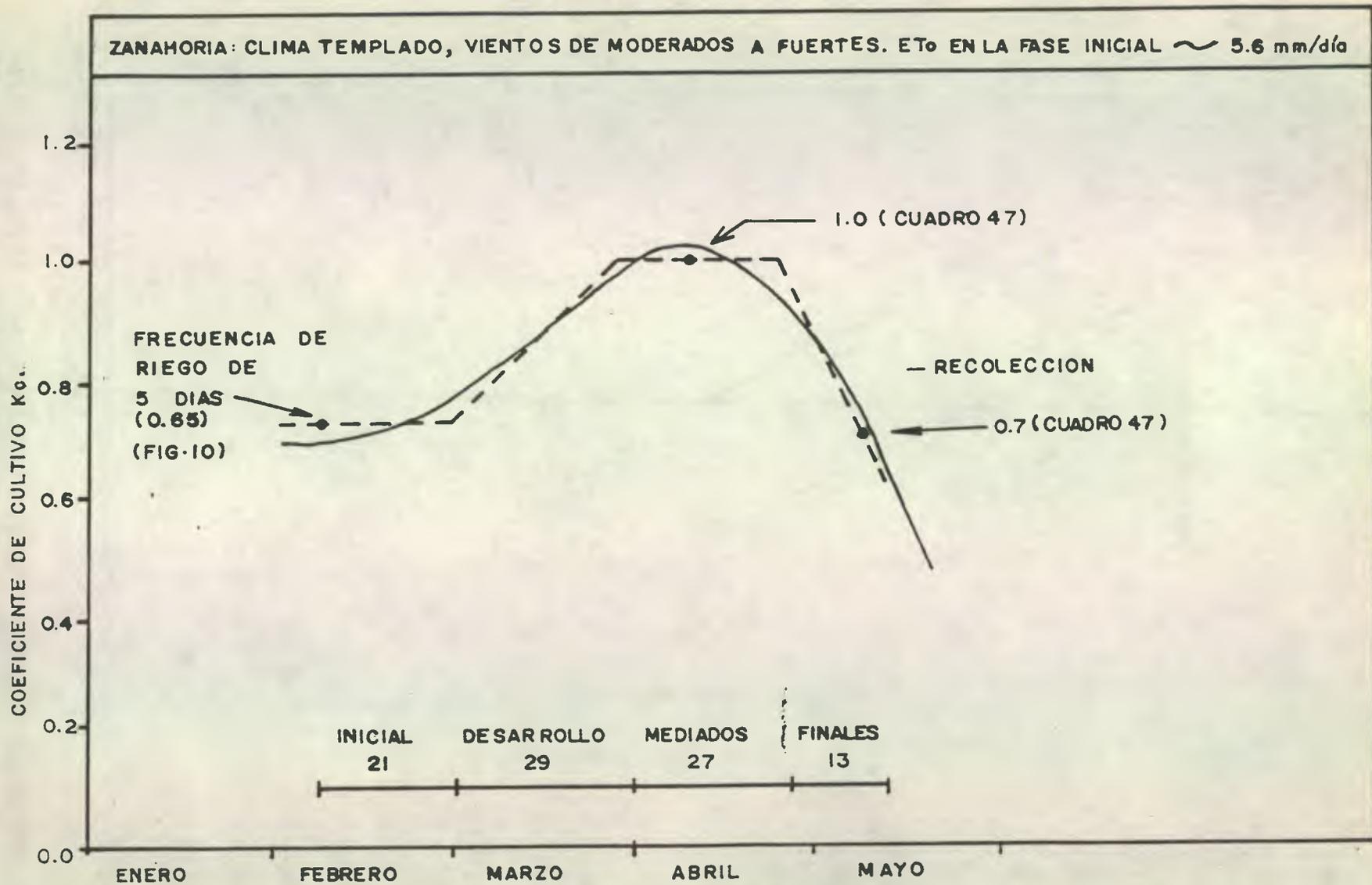


FIGURA 7.

CURVA DE COEFICIENTE DEL CULTIVO ( $K_c$ ), PARA BLANEY-CRIDDLE (EN CASO DE ZANAHORIA).

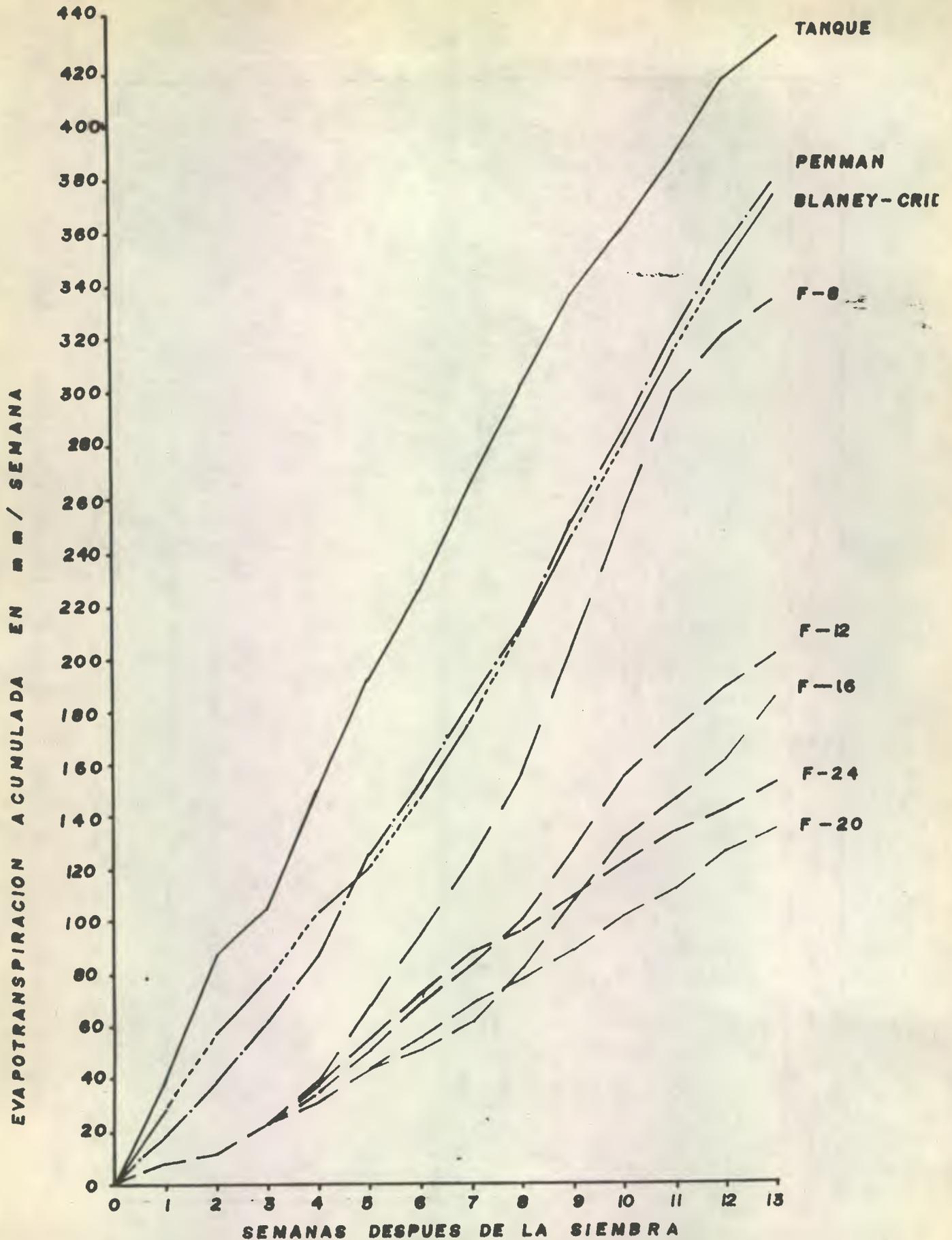


FIGURA 8 EVAPOTRANSPIRACION ACUMULADA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, PENMAN Y BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO POR FAO Y EVAPORACION DE TANQUE

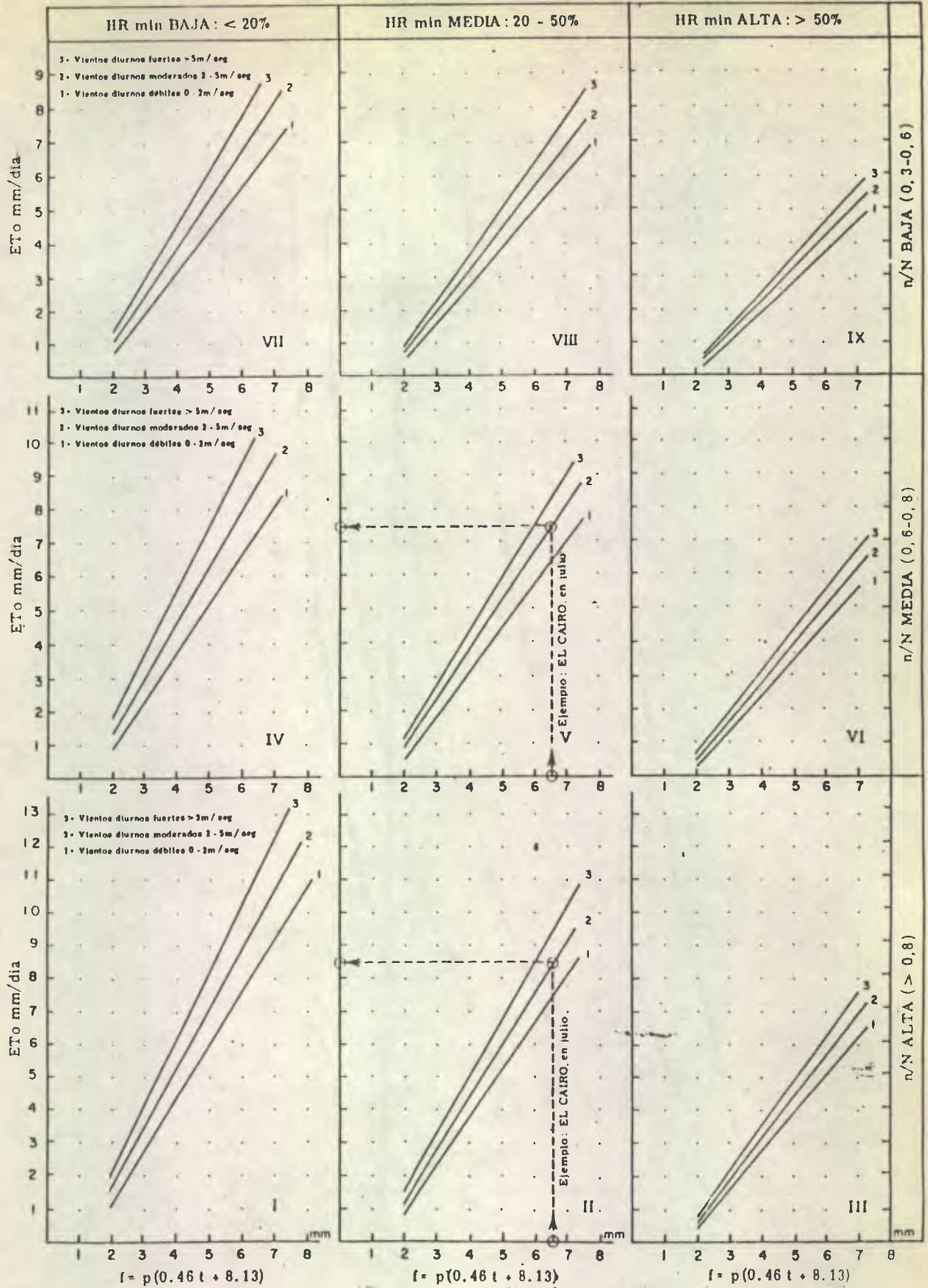


Fig. 9 Predicción de la ETo a partir del factor f de Blaney-Criddle, para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos.

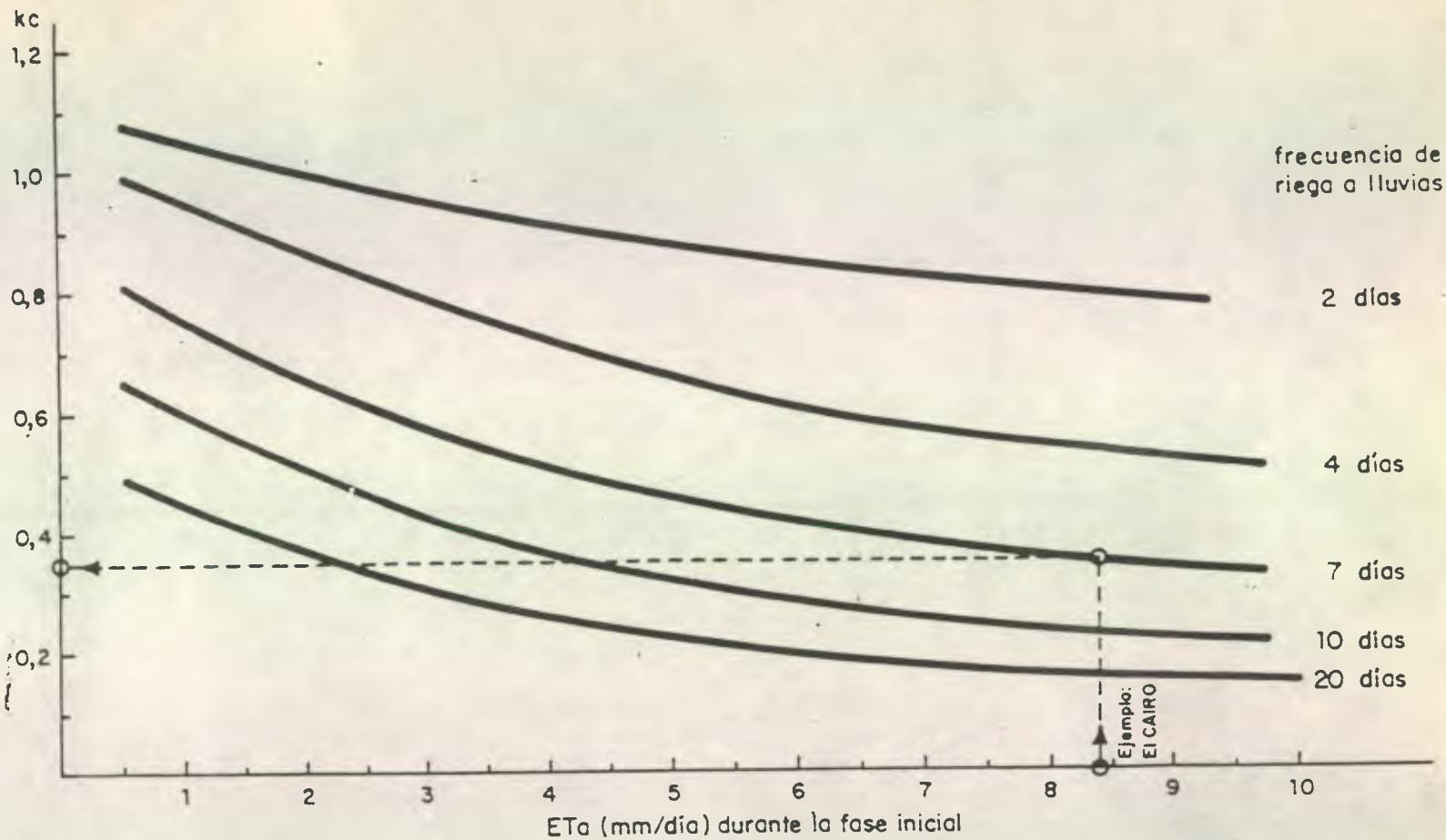
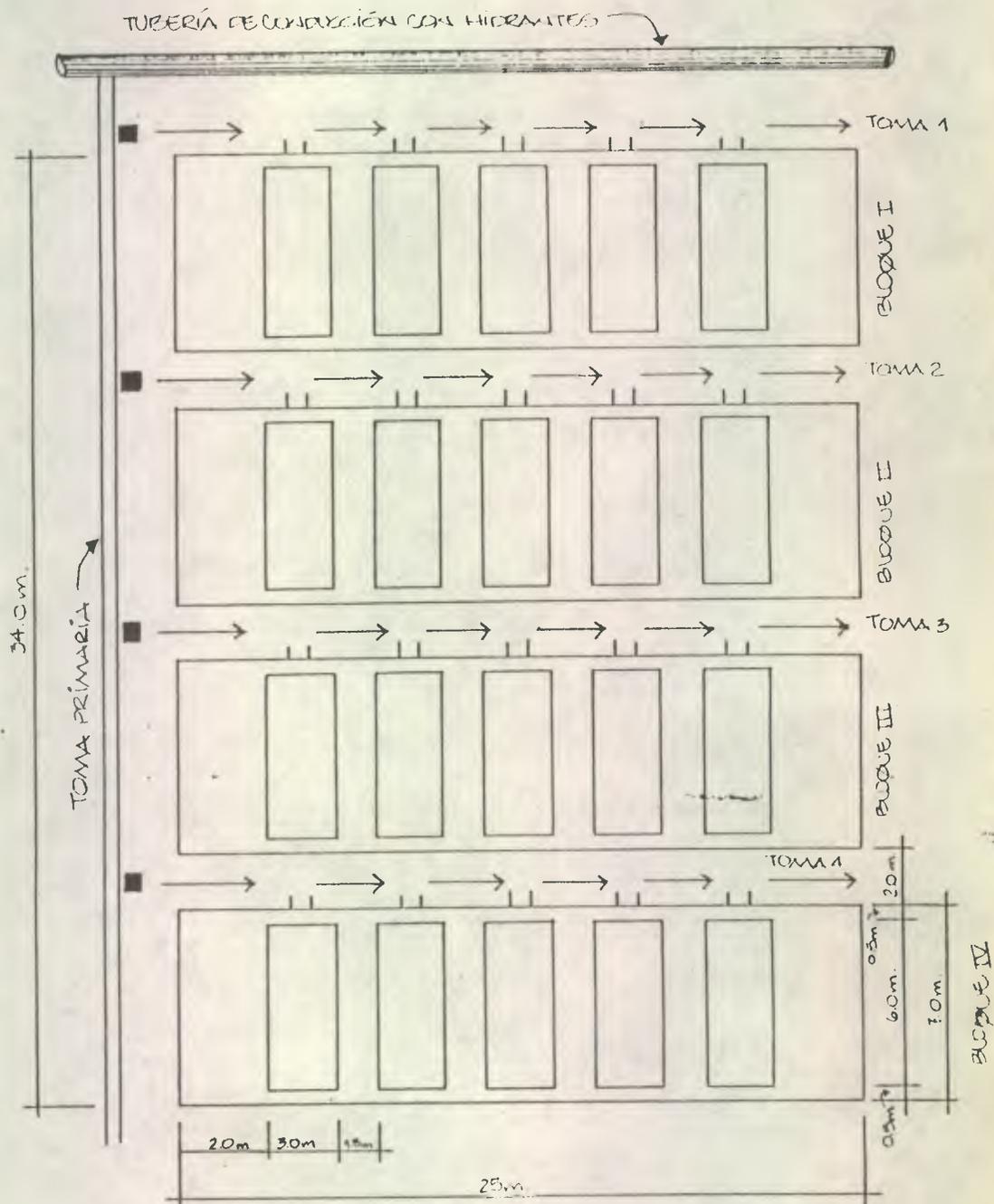


Fig. 10  $k_c$  medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la  $ET_a$  (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables.

Figura 11. PLANO GENERAL DEL EXPERIMENTO.



ESCALA: 1:250

## EJEMPLO 1.

Los cuadros que han de utilizarse para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia  $E_{to}$ , por la fórmula de Penman, son los siguientes:

<u>Variable</u>	<u>Descripción</u>
$e_a$	Presión saturante del vapor en mbar (se obtiene del Cuadro 33 del Apéndice, a partir de temperatura media del aire).
$e_d$	Presión del vapor (se obtiene del Cuadro 34 del Apéndice, a partir de la temperatura en el punto de rocío).
$f(u)$	Función del viento a una altura de 2 metros, en Km/día (se obtiene a partir del Cuadro 36 del Apéndice).
$(1-W)$	Factor de ponderación para los efectos del viento y de la humedad sobre la $E_t$ (se obtiene del Cuadro 37 del Apéndice en base a temperaturas y altitudes).
$W$	Factor de ponderación para los efectos de la radiación sobre la $E_t$ (se obtiene del Cuadro 38 del Apéndice, en base a temperaturas y altitudes).

<u>Variable</u>	<u>Descripción</u>
Ra	Radiación extraterrestre expresada en equivalente de evaporación en mm/día (se obtiene del Cuadro 39 del Apéndice en base a mes y altitud).
N	Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación (se obtiene del Cuadro 40 del Apéndice en base a mes y latitud).
Rns	Factor de conversión de la radiación extraterrestre Ra en radiación solar neta Rns (se obtiene del Cuadro 41 del Apéndice en base a la relación n/N).
f(t)	Corrección para la temperatura con respecto a la radiación neta de ondas largas Rnl (se obtiene del Cuadro 42 del Apéndice en base a temperatura).
f(ed)	Corrección para la presión del vapor con respecto a la radiación de ondas largas Rnl (se obtiene del Cuadro 43 del Apéndice, conociendo la ed).

<u>Variable</u>	<u>Descripción</u>
f(n/N)	Corrección para la relación entre las horas reales de fuerte insolación y las máximas posibles con respecto a la radiación de ondas largas $R_{nl}$ (se obtiene del Cuadro 44 del Apéndice, conociendo $n/N$ ).
c	Factor de corrección c para una ecuación Penman determinada (se obtiene del Cuadro 45 del Apéndice), haciendo una relación diurna/nocturna del viento y humedad).

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia  $E_{to}$ , para la primera semana de medición. Por la fórmula de Penman modificada por FAO.

a) Presión del vapor (ea-ed)

Datos:  $t_{max} = 21.32 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $t_{min} = 14.02 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $t_{punto \text{ de rocío}} = 11.91 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Cálculo:  $t_{media} = 17.67 \text{ } ^\circ\text{C}$

ea a  $17.67 \text{ } ^\circ\text{C} = 20.20 \text{ mbar}$  (Cuadro 33 del Apéndice)

ed =  $13.92 \text{ mbar}$  (Cuadro 34 del Apéndice, punto de rocío  $11.91 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

(ea-ed) =  $6.28 \text{ mbar}$



b) Función del viento  $f(u)$ 

Datos: la velocidad total del viento a una altura de 11 mts. es de 473.08 km/día.

Cálculo:  $U_2 = 0.76 \cdot 473.08 \text{ km/día} = 359.54 \text{ km/día}$ . (Cuadro 35 del Apéndice)

$$f(u) = 0.27 \left( 1 + \frac{359.54}{100} \right) = 1.24 \text{ (Cuadro 36 del Apéndice)}$$

c) Factor de ponderación  $(1-W)$ 

Datos: altitud 1500 mts.;  $t_{\max} = 21.32 \text{ C}$ ;  $t_{\min} = 14.02 \text{ C}$ .

Cálculo:  $t_{\text{media}} = 17.67 \text{ C}$   $(1-W) = 0.304$  (Cuadro 37 del Apéndice)

d) Factor de ponderación  $(W)$ 

Datos: altitud 1500 mts.;  $t_{\max} = 21.32 \text{ C}$ ;  $t_{\min} = 14.02 \text{ C}$ .

Cálculo:  $t_{\text{media}} = 17.67 \text{ C}$   $W = 0.696$  (Cuadro 38 del Apéndice)

e) Radiación neta  $R_n$ 

Datos: Guatemala; febrero, latitud  $15 \text{ N}$ , altitud 1500 m.  $t_{\text{media}} = 17.67 \text{ C}$ .

Cálculo: Radiación extraterrestre  $R_a$

lat. 15 C, febrero. Cuadro 39 del Apéndice  $R_a = 13.52$

mm/día

Radiación neta de ondas cortas  $R_{ns}$

lat. 15 C, febrero. Datos  $n = 7.96$  horas

Cuadro 40 del Apéndice  $N = 11.60$  horas

$R_{ns} = (1 - ) (0.25 + 0.50 n/n) R_a = 0.25$

Cálculo  $n/N = 0.69$

$R_{ns} = c$  (Cuadro 41 del Apéndice)  $\cdot R_a$

Cuadro 41 del Apéndice  $c = 0.45$

Cálculo  $R_{ns} = 6.08$  mm/día

$R_s = (0.25 + 0.50 n/N) R_a$

$R_s =$  Radiación solar

Cálculo  $R_s = 8.04$  mm/día

Radiación neta de ondas largas  $R_{nl}$

$R_{nl} = f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N)$

Cuadro 42 del Apéndice = 14.18

$t_{media} = 17.67$  C Cuadro 43 del Apéndice = 0.188

Cuadro 44 del Apéndice = 0.78

Cálculo  $R_{nl} = 2.08$  mm/día

Radiación neta  $R_n$

$R_n = R_{ns} - R_{nl}$  Cálculo = 4.00 mm/día

f) Factor de corrección c

Datos: Guatemala, febrero;  $R_s = 8.04$  mm/día;  $RH_{m\acute{a}s} = 97.29\%$ ;

Udía 5.8 m/seg; Unoché 5.30 m/seg.

Cálculo: valor de c Cuadro 45 del Apéndice = 0.72 (por interpolación).

g) Cálculo de Eto

La evapotranspiración del cultivo de referencia Eto

$$Eto = c [W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea-ed)]$$

Datos: Guatemala, febrero;  $W = 0.696$ ;  $R = 4.00$ ;  $(1-W) = 0.304$ ;

$$f(u) = 1.24; (ea-ed) = 6.28; c = 0.72$$

$$\text{Cálculo} = Eto = 0.72 [0.696 \cdot 4.00 + 0.304 \cdot 1.24 \cdot 6.28]$$

$$Eto = 3.71 \text{ mm/día}$$

**Ejemplo 2.**

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia Eto, para la primera semana de medición. Por la fórmula de Blaney-Griddle modificada por FAO.

Datos: Guatemala, latitud 15° N, altitud 1500 mts., mes de febrero.

Promedios mensuales:

$t_{max} = \text{media}$ ;  $n/N = \text{alta}$ ; viento = fuerte.

Cálculo:

$$t_{\text{media diaria}} [t_{\text{max}} + t_{\text{min}}] / 2 = 17.54$$

p tomar del Cuadro 46 del Apéndice para 15 C = 0.26

$$f = p (0.46t + 8.13)$$

$f = 0.31 (0.46 \cdot 17.54 + 8.13) = 4.20$ , puede tomarse el valor en el Cuadro 47 del Apéndice.

HRmin = media; n/N = alta; viento = fuerte.

Eto Figura 9 del Apéndice - Recuadro II = 5.6 mm/día



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: EFECTO DE CINCO FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE ZANAHORIA (Daucus carota L.) PARA EL VALLE CENTRAL DE GUATEMALA.

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MIGUEL ANGEL MORALES CAYAX

CARNET NO: 8510125

Ha sido evaluada por los profesionales: Ingenieros Agrónomos David Juárez y Gustavo Méndez.

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Jorge Sandoval  
ASESOR

  
Ing. Agr. Domingo Amador  
ASESOR

Dr. Luis Mejía de León  
DIRECTOR DEL IIA



IMPRIMASE:

  
Ing. Agr. Efraín Medina  
DECANO

/sler